



SUIVI DE LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DE MER DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE

1^{er} semestre 2021



« Chimie de l'environnement et
Modélisation hydrodynamique »

Rapport
Juin 2021

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

AEL/LEA 138-VI-17-P

Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle- Calédonie

1^{er} semestre 2021

Nombre de pages : 34

	Ref AEL	Ref Client
Identification	138-VI-17-P	L36941/0001
Titre complet	Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.	
Auteurs		
Résumé	<p>Dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE 2007 et 2008, Prony Ressources a mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau depuis 2008.</p> <p>Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1^{er} semestre 2021 (avril 2021) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Prony Ressources. Le programme de surveillance semestrielle du milieu marin est réalisé en 14 stations réparties dans la zone d'influence du complexe minier et industriel de Prony Ressources (Canal de la Havannah, Baie du Prony et Canal Woodin).</p> <p>Les fluctuations des paramètres physico-chimiques (ex : température, salinité, turbidité et fluorescence) et des concentrations de certains sels nutritifs (SiO₄, NO_x et NH₄), de matières organiques (Azote et Phosphore) et de métaux latéritiques dissous (ex : Co, CrVI, Cr-total, Mn et Ni) mettent en évidence les différentes influences agissant dans la zone étudiée du lagon du sud de la Nouvelle-Calédonie.</p> <p>Les profils de turbidité et de fluorescence permettent de distinguer les stations sous influence terrigène ou bien océanique. Globalement, en relation avec les fortes précipitations ayant eu lieu les trois jours précédant la campagne, les concentrations des paramètres étudiés montrent l'influence terrigène exercée sur les stations les plus proches de la côte par rapport aux précédentes campagnes « saison chaude ».</p>	

APPROBATION

FONCTION			
Rédacteur			05/07/2021
Vérificateur 1			07/08/2021
Vérificateur 2			12/08/2021
Approbateur			13/08/2021

COPIE - DIFFUSION

NOM	ORGANISME
	Prony Ressources, Département Environnement

Ce rapport est cité comme suit : Drouzy M., Fernandez JM. 2021. Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. 1^{er} semestre 2021. Contrat AEL/Vale-NC n° L36941/0001.

TABLE DES MATIERES

I.	CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	6
II.	METHODOLOGIE.....	7
A.	SITE D'ÉTUDE	7
A.	ECHANTILLONNAGE	8
B.	CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	9
III.	RESULTATS	11
A.	STRUCTURE DES MASSES D'EAU.....	11
B.	ÉLÉMENTS MAJEURS ET PH	16
C.	MATIÈRES EN SUSPENSION.....	16
D.	SELS NUTRITIFS	18
E.	MATIÈRES ORGANIQUES.....	23
F.	CHLOROPHYLLE A.....	28
G.	MÉTAUX DISSOUS	29
IV.	SYNTHÈSE	36
A.	MÉTÉOROLOGIE.....	36
B.	SELS NUTRITIFS	37
C.	MÉTAUX DISSOUS	39
V.	CONCLUSION	48

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le suivi est une exigence des arrêtés ICPE 2007¹ et 2008².

La définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et géochimique des eaux marines a été réalisée entre 2005 et 2007 sur 18 stations ([Fernandez et al., 2006](#) ; [Fernandez et al., 2007](#)).

Depuis 2008, dans le but de se conformer aux arrêtés ICPE, l'industriel a mis en place le programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la colonne d'eau. Ce suivi s'exerce, sans interruption, jusqu'à aujourd'hui sur un total optimisé de 14 stations (13 ICPE + 1 ex.Vale-NC).

L'objectif consiste à suivre l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de mer, et à cet effet, il est effectué des prélèvements à des fins d'analyses semestrielles; les séries temporelles permettent de déceler l'évolution de tout impact des activités industrielles sur les masses d'eau dans la zone d'influence potentielle du complexe de Prony Ressources (ex.Vale-NC). Ce suivi consiste à déterminer les principaux paramètres physico-chimiques, analyser les concentrations en métaux dissous ainsi qu'en sels nutritifs et matières organiques, dissoutes et particulaires.

Ce rapport présente les résultats de la campagne de prélèvement du **1^{er} semestre 2021** (avril 2021).

¹ Arrêté ICPE : installations portuaires du 13 juillet 2007

² Arrêté ICPE : usine d'extraction et usine de préparation des minéraux ainsi que le parc à résidus de la Kwé uest du 09 octobre 2008.

II. METHODOLOGIE

A. SITE D'ÉTUDE

Les opérations de terrain ont été réalisées sur les 14 stations du suivi physico-chimique (

Tableau 1). Afin de faciliter l'interprétation, les stations sont regroupées dans quatre zones subissant différentes influences :

- **Canal de la Havannah** : ST02, ST05, ST07, ST09 et St21 influencées majoritairement par les apports océaniques ;
 - **Baies du Canal** : ST03, ST06 et ST14 influencées majoritairement par les apports en eaux douces des creeks des baies adjacents ;
 - **Baie du Prony** : ST15, ST16, ST18 et ST19 influencées majoritairement par les apports en eaux douces des creeks de la Baie du Prony ;
 - **Île Ouen** : ST13 et St20 influencées à la fois par les apports en eaux douces et les apports océaniques.



Figure 1: Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.



Tableau 1: Liste et position des stations de prélèvement du suivi physico-chimique de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie.

Localisation	Station	Station au référentiel WGS-84		Profondeur (m)
		Longitude E	Latitude S	
Basse Chambeyron	ST02	167° 00,506	22° 23,599	33
Baie Port Boisé	ST03	166° 58,010	22° 21,190	29
Ilot Kié	ST05	167° 03,100	22° 22,050	34
Récif de la Baie Kwé	ST06	166° 59,112	22° 20,830	20
Récif Iloro	ST07	166° 57,910	22° 22,820	41
Canal de la Havannah	ST09	166° 59,754	22° 22,540	47
Pointe Nord du récif Ma	ST13	166° 51,354	22° 24,914	35
Port de Goro	ST14	167° 01,160	22° 19,350	37
Prony Creek Baie Nord	ST15	166° 52,590	22° 20,037	25
Prony Wharf	ST16	166° 53,300	22° 21,455	42
Prony Ilot Casy	ST18	166° 51,061	22° 21,668	26
Rade de l'est	ST19	166° 53,340	22° 23,170	38
Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180	25
Ilot Ugo	St21	166° 55,501	22° 26,728	36

A. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Mia (Casy Express) au cours de la campagne semestrielle du 20 au 22 avril 2021.

Pour chaque station, les prélèvements d'eau ont été effectués par bouteilles « Niskin® » pour le dosage des ions majeurs, des sels nutritifs et de la matière organique dissoute et particulaire, et les bouteilles « Go-Flo®, Metal-Free » ont été utilisées pour le dosage des métaux dissous.

L'eau a été échantillonnée aux profondeurs suivantes :

- Sub-surface (-3 m) ;
- Mi-profondeur ;
- Proximité du fond (environ 3 m du fond ou +3 m).

De la même manière que lors de la première campagne semestrielle, les opérations suivantes ont été réalisées :

- Enregistrements de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- Prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des concentrations en matières en suspension (MES) et en ions chlorures (Cl⁻), sulfates (SO₄²⁻), calcium (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et magnésium (Mg²⁺) ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates et nitrites, ammonium, phosphates, silicates), de la charge organique dissoute et particulaire (azote et phosphore organiques dissous et azote, phosphore et carbone organiques particulaires) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle a et phéopigments) ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent (Cr⁶⁺), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

La méthodologie détaillée des différentes analyses est décrite dans l'Annexe1.

B. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Les conditions hydroclimatiques ont une influence directe sur la valeur des paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de restituer chaque prélèvement dans son contexte climatique, les principales données météorologiques ont été relevées à la station de l'usine (ancienne pépinière) et les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur un marégramme (Figure 4).

Les conditions météorologiques sur la période précédent la campagne (du 15 et le 19 avril 2021) sont caractérisées par un cumul de 135 mm de précipitations et des vents Alizés inférieurs à 4 m/s. Le 17 avril a été marqué par une chute totale du vent.

Sur la durée de la campagne semestrielle (20 au 22 avril 2021), aucune précipitation n'a été enregistrée (Figure 2). L'intensité des vents est restée faible et a diminué au cours de la campagne de 4 à 3 m/s pour les maximums journaliers (Figure 3). Les vents observent un cycle journalier, faiblissant durant la nuit. La veille de la campagne (19 avril) les vents tournent brusquement à l'Ouest, puis reprennent progressivement un secteur Est.

Précipitations journalières
Avril 2021

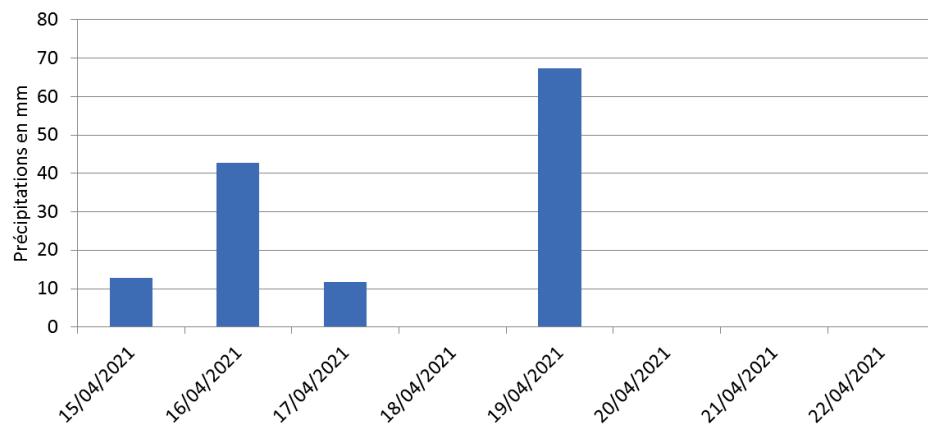
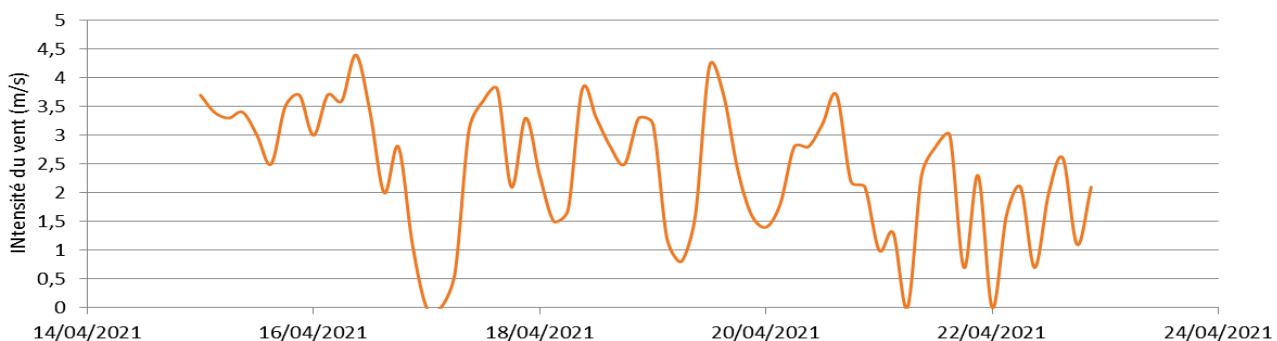


Figure 2: Cumul des précipitations journalières pendant les 5 jours précédant la campagne (15 au 19/04/2021) et pendant la campagne semestrielle (20 au 22/04/21). Données météorologiques météo France station "ancienne pépinière".

Intensité du vent



Direction du vent



Figure 3 : intensité et direction du vent soufflant avant et durant la campagne (Données Météo France, station ancienne pépinière de Goro)

Les prélèvements ont été réalisés à différents moments de la marée, ainsi :

- Le 1^{er} jour, les stations du Canal de la Havannah (ST05, ST02, ST09) ainsi que la baie de Goro (ST17) ont été prélevées lors de la marée montante. Les stations des baies (ST06 et ST03) et Ioro (ST07) ont été prélevées autour de l'étalement de marée haute.
- Le 2^{ème} jour, les prélèvements effectués à l'îlot Ugo (St21), l'île Ouen (ST13 et St20), ont été réalisés en fin de marée descendante. En fin de matinée, la Baie de Prony avec les stations ST19, ST18, ST15, et ST16 ont été visitées pendant l'étalement de marée basse et le début de la marée montante (Figure 4).

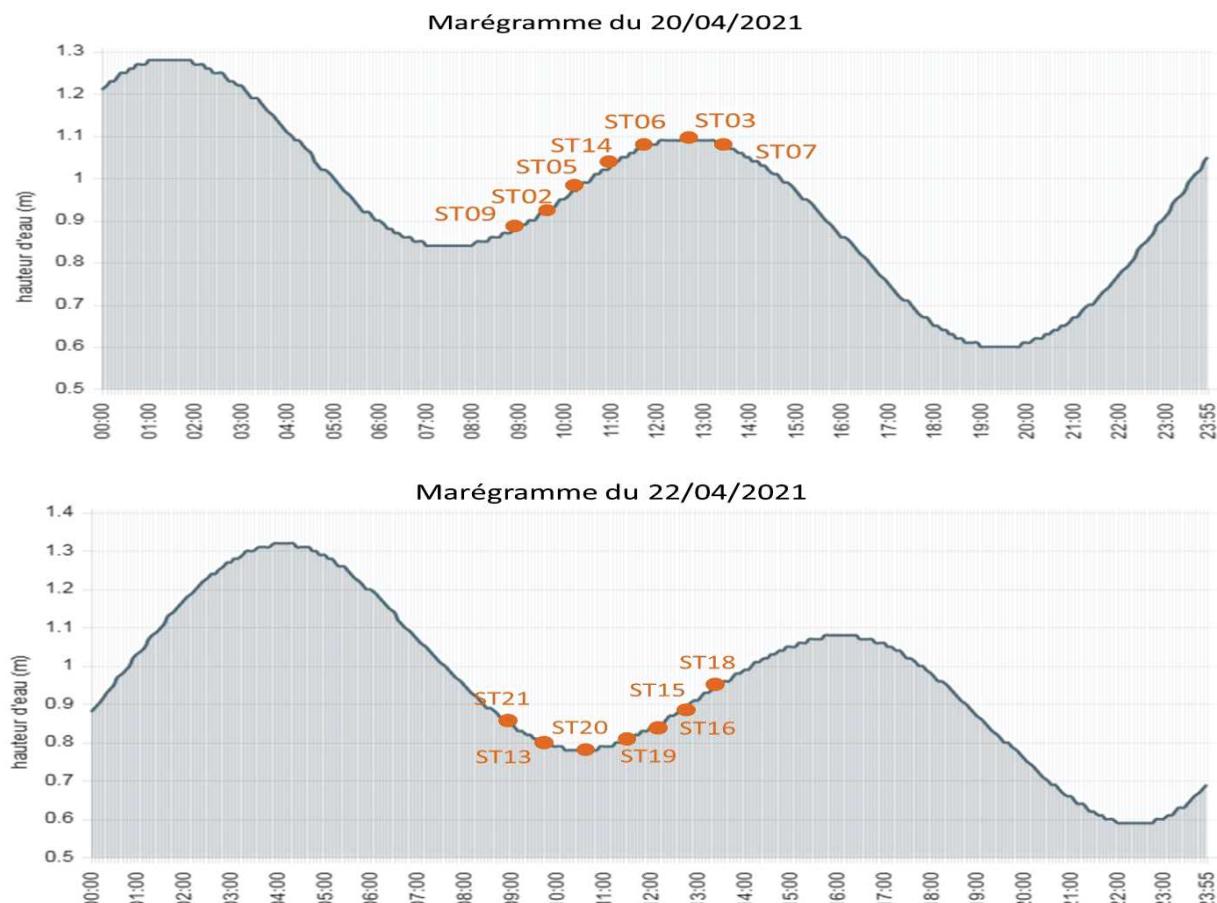


Figure 4: Chronologie des évènements de la campagne semestrielle d'avril 2021 reportée sur les marégrammes du 20 et 22 avril 2021.

III. RESULTATS

A. STRUCTURE DES MASSES D'EAU

Rappel : Les mesures de température, salinité, fluorescence et turbidité sont nécessaires pour déterminer la stratification verticale des masses d'eau et ont pour objectif principal de détecter toute modification importante des principales caractéristiques en lien ou non avec l'activité minière. En milieux côtier et estuarien, la salinité est un traceur des apports d'eaux douces. La turbidité est définie comme étant la « réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes » (Aminot et Kérouel, 2004) ; elle est le reflet de la charge particulaire dans l'eau. En milieux côtier et estuarien, la turbidité peut indiquer l'existence d'apports en particules provenant des rivières, d'une remise en suspension de dépôts sédimentaires ainsi que de blooms planctoniques. La fluorescence permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens et donc de quantifier globalement la biomasse phytoplanctonique. Cette mesure fournit une bonne indication du statut trophique du milieu.

Les valeurs de température, fluorescence, salinité et turbidité mesurées lors de cette campagne sont reportées dans les Tableau 2, Figure 5, Figure 6, Figure 7, Figure 8 et Annexe 2.

Tableau 2: Statistiques des valeurs de température, salinité, fluorescence et turbidité enregistrées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

	Statistique	Température (°C)	Fluorescence	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
Canal de la Havannah	Minimum	23,79	0,11	0,28	33,44
	Maximum	26,13	6,48	10,76	35,60
	Moyenne	25,28	0,48	0,73	34,87
	Ecart-type	0,68	0,24	0,90	0,37
Baies du Canal	Minimum	23,98	0,15	0,39	30,34
	Maximum	25,91	1,03	7,48	35,11
	Moyenne	25,56	0,57	1,01	34,37
	Ecart-type	0,29	0,17	0,86	1,21
Baie du Prony	Minimum	22,26	0,00	0,00	15,25
	Maximum	26,08	1,87	9,41	35,63
	Moyenne	25,11	0,48	0,65	34,59
	Ecart-type	0,98	0,20	0,75	1,30
Ile Ouen	Minimum	21,25	0,05	0,34	33,85
	Maximum	25,53	1,10	7,26	35,61
	Moyenne	25,01	0,49	0,68	34,85
	Ecart-type	1,16	0,15	0,44	0,33

1. Température

Spatiallement, la température varie en fonction des stations considérées entre 21 et 26 °C, pour une moyenne inter-stations de $25,24 \pm 0,77$ °C (Figure 5).

Les zones d'étude aux eaux les plus chaudes sont une nouvelle fois le Canal de la Havannah et les baies du Prony, (Tableau 2). L'ensemble des profils s'avère très hétérogène. Les profils obtenus dans le canal de la Havannah révèlent une décroissance très marquée de la température avec la profondeur, de la même manière que les baies du Canal ST03 et ST06.

Les stations de l'Ile Ouen et de Port de Goro sont relativement stables sur la verticale tandis que les stations de la baie du Prony marquent une légère augmentation de la température en subsurface. Seule la station ST16 présente ensuite une diminution avec la profondeur.

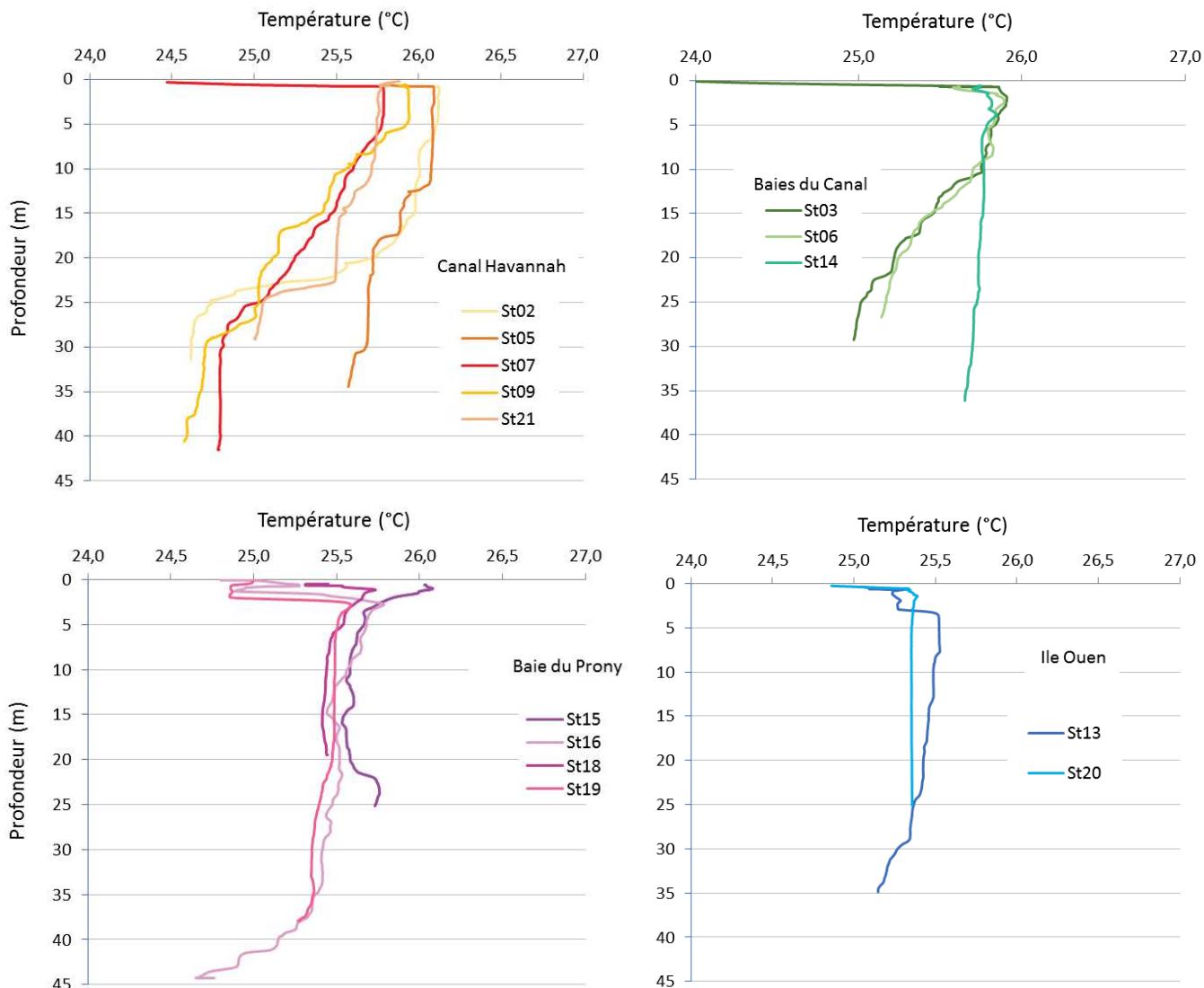


Figure 5: Profils de température des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

2. Salinité

La mesure de salinité inter-zones montre de légères différences entre les zones d'étude puisque la moyenne globale est de $34,66 \pm 0,81 \text{ ‰}$.

La salinité moyenne calculée pour les stations du Canal de la Havannah est la plus importante ($34,87 \pm 0,37 \text{ ‰}$, Tableau 2) suivie de près par celle de l'Ile Ouen ($34,85 \pm 0,33 \text{ ‰}$). Les profils de ces stations sont également les plus homogènes, ne présentant quasiment aucun gradient vertical depuis la surface. A l'inverse, les profils de salinité des baies du Prony présentent des variations très marquées sur la verticale, avec une halocline très visible entre 1 et 2 mètres de profondeur. La tendance est également observée dans les baies du Canal, particulièrement ST03 et ST06, où une dessalure de surface due sans doute aux précipitations des jours précédant la campagne est bien visible. Une halocline est également observée en ST14 (Port de Goro) mais avec

un gradient plus limité et plus en profondeur (5m) marquant un mélange plus ancien des eaux douces avec les eaux salines.

La dessalure de surface la plus importante et la moins profonde est enregistrée en face du creek de la rade Nord (ST15), traduisant la proximité de la station et ses apports en eau douce.

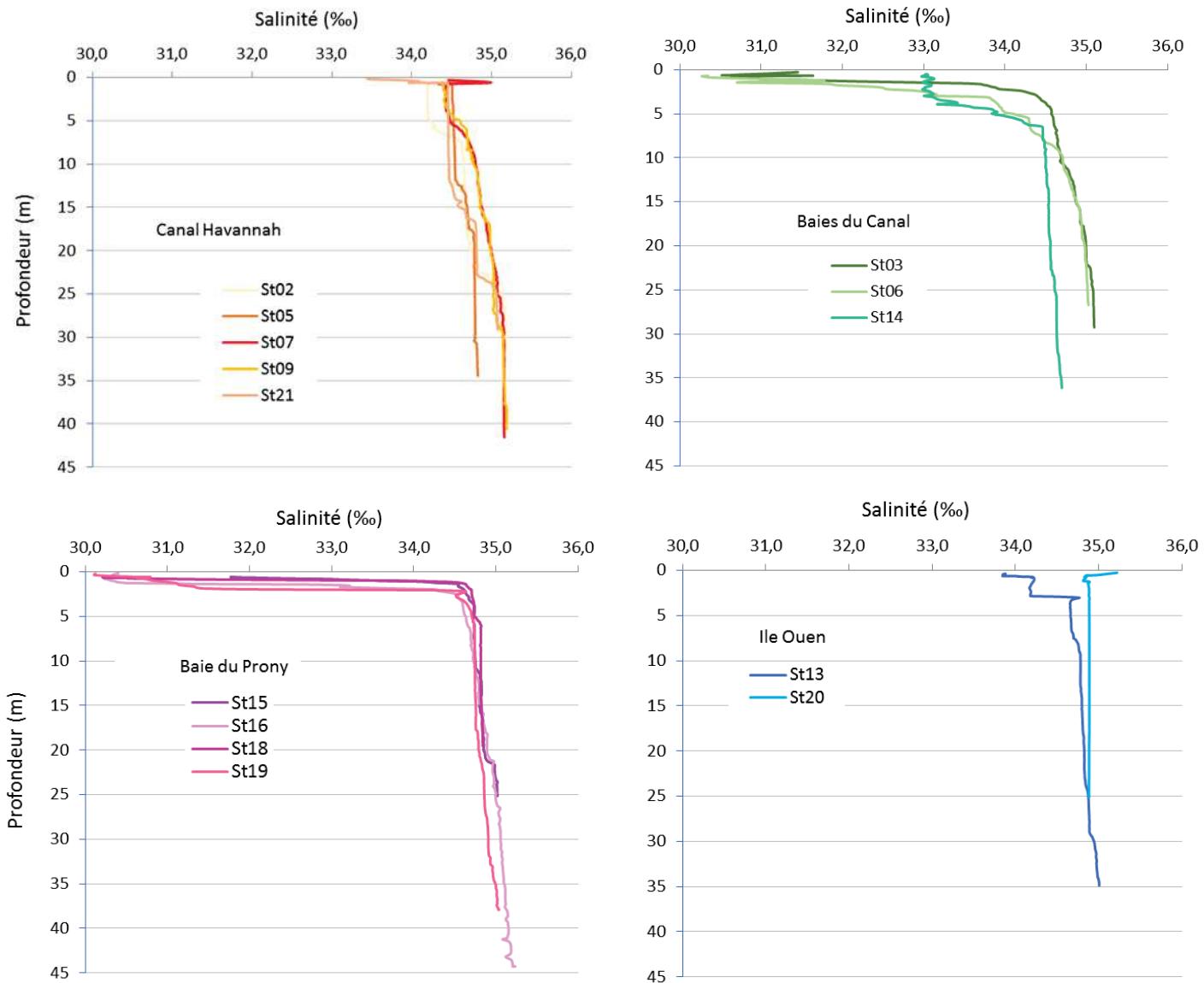


Figure 6: Profils de salinité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

3. Fluorescence

Les moyennes de fluorescence calculées sont très similaires pour les zones du canal de la Havannah, des baies du Prony et de l'Île Ouen ($0,48 \pm 0,18 \text{ mg/m}^3$). La zone des baies du Canal présente quant à elles des valeurs moyennes de fluorescence plus élevées ($0,57 \pm 0,17 \text{ mg/m}^3$). Les fluctuations de la fluorescence sur la verticale selon les stations peuvent varier jusqu'à 24,5 % (ST07).

A contrario des observations menées en saison fraîche, les stations les plus proches des apports d'eaux douces ne sont pas les seules à présenter de fortes variations sur la verticale. En effet, l'ensemble des stations de la baie du Prony montre une augmentation progressive de la fluorescence avec la profondeur, avec un maximum

relativement profond, tandis que les profils des stations des baies de Port Boisé et de la Kwé enregistrent un maximum entre 5 et 10m sous la surface, puis diminuent avec la profondeur.

Les variations verticales de fluorescence observées pour les stations du Canal de la Havannah et de l'île Ouen sont moins marquées, avec des profils plus homogènes sur la colonne d'eau. Cependant, la station ST07 fait office d'exception puisque le profil de fluorescence délimite clairement deux couches aux valeurs très contrastées, la première occupant les 20 premiers mètres. Le profil ayant été réalisé à l'étale de marée montante, cette couche de surface peut correspondre avec la signature des eaux océaniques entrantes.

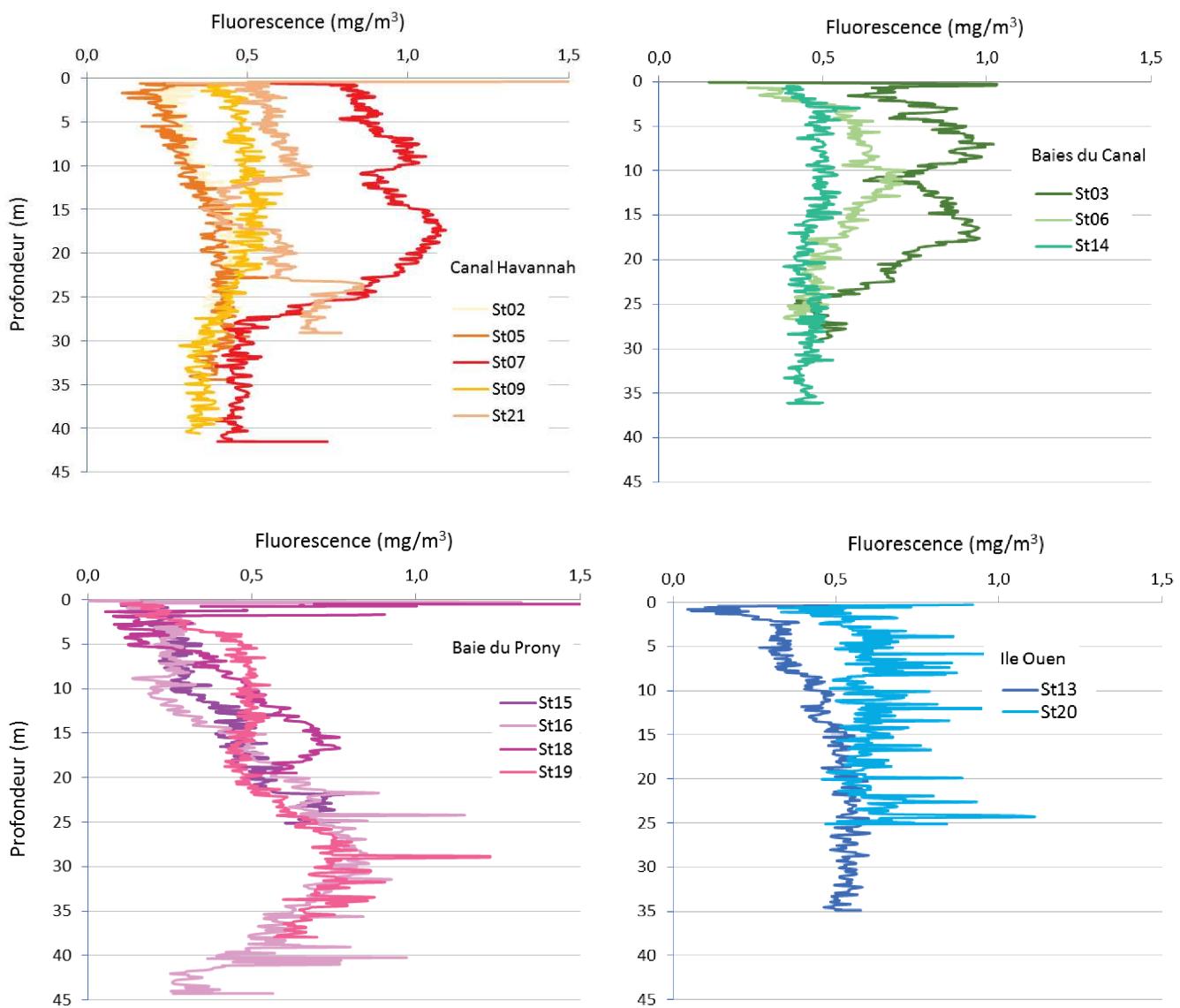


Figure 7: Profils de fluorescence des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

4. Turbidité

Les profils de turbidité montrent des valeurs de concentrations en matières en suspension du même ordre de grandeur quelle que soit la zone considérée (entre 0,65 et 1 NTU), exception faite de couches d'ordre métrique en surface.

En effet, les stations des baies du canal de la Havannah se distinguent de celles de l'île Ouen et de Prony par des valeurs de turbidité beaucoup plus importantes en surface en lien probable avec les précipitations du 19/04.

Par ailleurs, la couche néphéloïde observée en profondeur de la station ST03 pourrait être le marqueur des apports en particules terrigènes apportées lors des précipitations bien antérieures (16/04) et n'ayant pas encore été totalement évacuées.

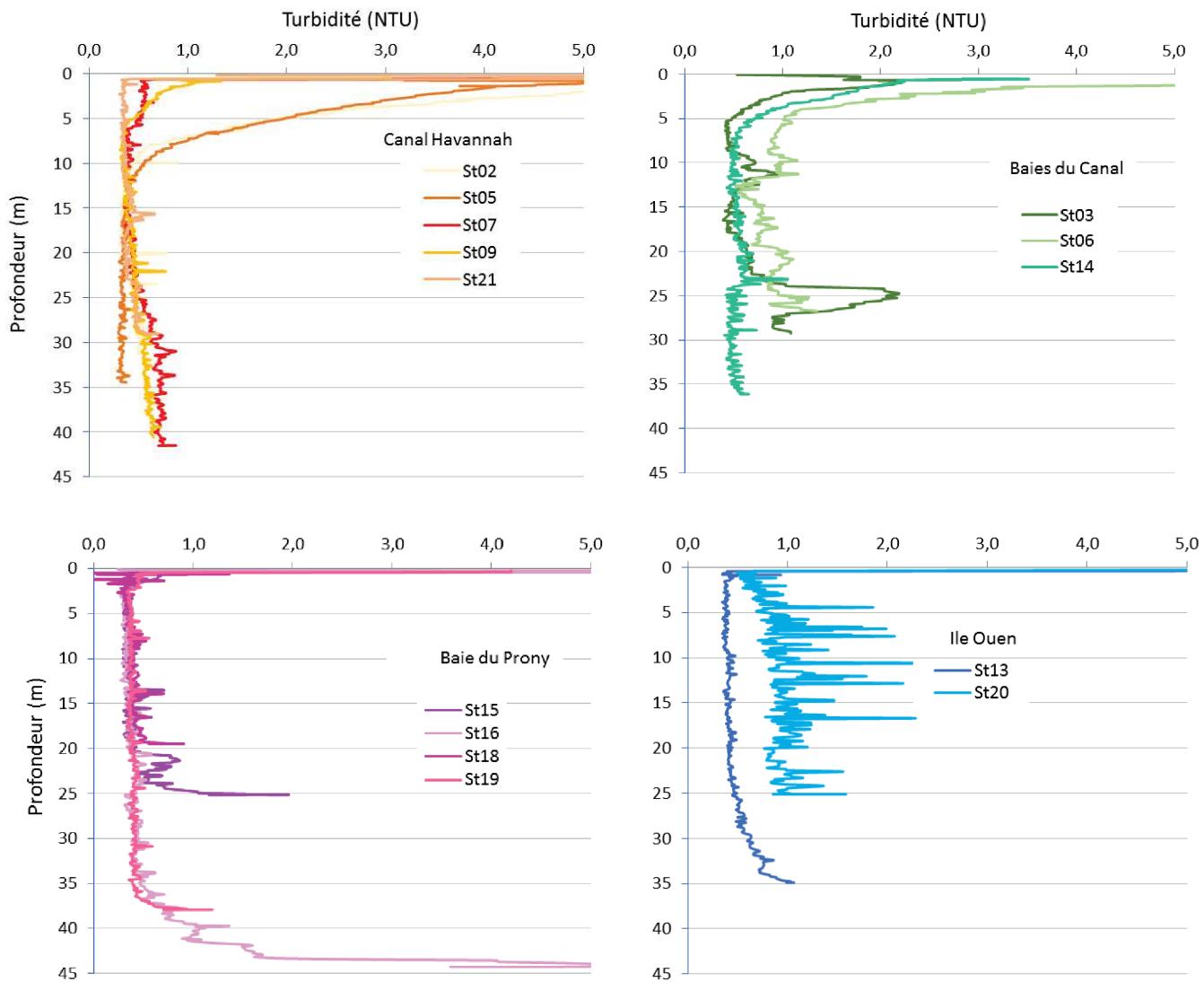


Figure 8: Profils de turbidité des 14 stations échantillonnées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

Ce qu'il faut retenir :

La salinité peut être considérée comme un proxy des précipitations et son influence est surtout décelable au niveau des baies (ST03, ST06 et ST15) où les valeurs mesurées sont plus faibles. Elles ne sont cependant pas automatiquement en corrélation avec des valeurs de turbidité plus importantes, indiquant la présence dans la colonne d'eau de particules non terrigènes, mais de nature biologique. En effet, bien que les précipitations aient eu lieu avant la campagne, des couches turbides sont présentes en surface pour des stations situées au large (ST05, ST09), générées sans doute par la présence de matières biologiques.

La fluorescence n'apparaît liée ni aux profils de salinité, ni de turbidité, mais exprime dans le canal de la Havannah, l'entrée probable des masses océaniques influencées par le récif barrière (ST07).

B. ÉLÉMENTS MAJEURS ET pH

Les concentrations des éléments majeurs et les pH sont regroupés dans le Tableau 3 ainsi qu'en Annexe 3.

Au regard des écarts types calculés, les concentrations en éléments majeurs sont très homogènes sur l'ensemble de la zone d'étude et s'inscrivent dans le même ordre de grandeur que les précédentes campagnes (Tableau 3).

Le pH moyen est très homogène sur l'ensemble de la zone d'étude ($8,03 \pm 0,03$) (Tableau 3).

Tableau 3 : Statistiques des concentrations en éléments majeurs et des valeurs du pH mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

Zone d'étude	Statistique	pH	Éléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄
Canal de la Havannah	Minimum	8,02	416	516	1333	11070	18402	1900
	Maximum	8,08	489	567	1554	12504	20486	2500
	Moyenne	8,05	437	532	1392	11565	19583	2147
	Ecart-type	0,02	17	13	53	340	583	190
Baies du Canal	Minimum	7,98	393	483	1266	10362	17361	1700
	Maximum	8,07	446	543	1401	12902	20138	3100
	Moyenne	8,03	425	521	1352	11451	18904	2172
	Ecart-type	0,03	20	23	52	744	920	449
Baie du Prony	Minimum	8,02	394	477	1262	10472	16666	1650
	Maximum	8,07	472	554	1502	12149	19791	2750
	Moyenne	8,04	432	521	1379	11388	18865	2129
	Ecart-type	0,02	26	28	76	596	1223	309
Île Ouen	Minimum	7,93	428	525	1380	11491	19444	1900
	Maximum	8,04	481	554	1546	12243	19791	2750
	Moyenne	8,01	451	540	1444	11839	19560	2133
	Ecart-type	0,04	20	13	61	296	179	309

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en éléments majeurs, stables dans l'eau de mer, ainsi que le pH restent semblables aux campagnes précédemment effectuées et sont homogènes entre les différentes zones étudiées.

C. MATIÈRES EN SUSPENSION

Rappel : La mesure des matières en suspension (MES) est importante dans les milieux côtiers et estuariens car elle reflète à la fois l'intensité des apports terrigènes et la remise en suspension de sédiments sous l'influence des conditions météorologiques (vent, pluie...). Les MES influencent également la production primaire : une charge particulaire élevée peut, en effet, modifier l'importance de la couche euphotique. En milieux côtier et estuarien, ces valeurs peuvent varier de 0,5 à 5,0 mg/L (Aminot et Kérouel, 2004).

Les concentrations de matière en suspension (MES) déterminées lors de la campagne d'avril 2021 sont représentées dans la Figure 9, le Tableau 4, ainsi qu'en Annexe 3.

Les charges mesurées en MES distinguent les stations de baies ($1,35 \pm 0,75$ mg/L et $1,48 \pm 0,71$ mg/L pour la baie de Prony et les baies du Canal respectivement) et les stations plus au large ($0,94 \pm 0,18$ mg/L et $0,9 \pm 0,2$ mg/L pour le canal de la Havannah et l'Île Ouen, respectivement ; Tableau 4).

Tableau 4: Statistiques des concentrations de MES mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie (avril 2021).

Zone d'étude	Statistique	MES (mg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,758
	Maximum	1,280
	Moyenne	0,939
	Ecart-type	0,177
Baies du Canal	Minimum	0,816
	Maximum	2,856
	Moyenne	1,479
	Ecart-type	0,715
Baie du Prony	Minimum	0,574
	Maximum	2,618
	Moyenne	1,350
	Ecart-type	0,755
Île Ouen	Minimum	0,680
	Maximum	1,208
	Moyenne	0,901
	Ecart-type	0,211

On constate également pour les stations des baies une plus importante disparité intra-zone et dans la répartition verticale des matières en suspension. La valeur la plus élevée a été mesurée à Port de Goro (ST14 à mi-profondeur) avec 2,86 mg/L, tandis que la valeur la plus faible a été obtenue en rade de l'Est (<0,1 mg/l, station ST19 en surface).

Les stations des baies du Canal montrent des maximums en surface, tandis que les concentrations en MES des stations des baies du Prony augmentent avec la profondeur.

Les stations des baies de Port Boisé et de la Kwé enregistrent leurs valeurs maximales de matières en suspension en surface, en lien avec les apports terrigènes générés par les pluies des jours précédant la campagne ; pour les eaux de surface des stations du large (ST07, ST02...), la nature des particules doit plutôt être d'ordre biologique. Ces observations sont en accord avec les turbidités et fluorescences de surface obtenues grâce aux profils verticaux de CTD.

Ce qu'il faut retenir :

Lors de cette campagne, les concentrations en MES ne sont pas homogènes dans la zone d'étude. Les valeurs oscillent entre des concentrations inférieures à 0,1 mg/L et des maximums de presque 3 mg/L. Les plus fortes valeurs sont observées aux stations des baies dans leurs eaux de surface et sont très hétérogènes dans leur répartition verticale. De fait, les valeurs faibles sont généralement mesurées aux stations les plus aux larges et les charges sont, la plupart du temps, homogènes aux trois profondeurs échantillonnées.

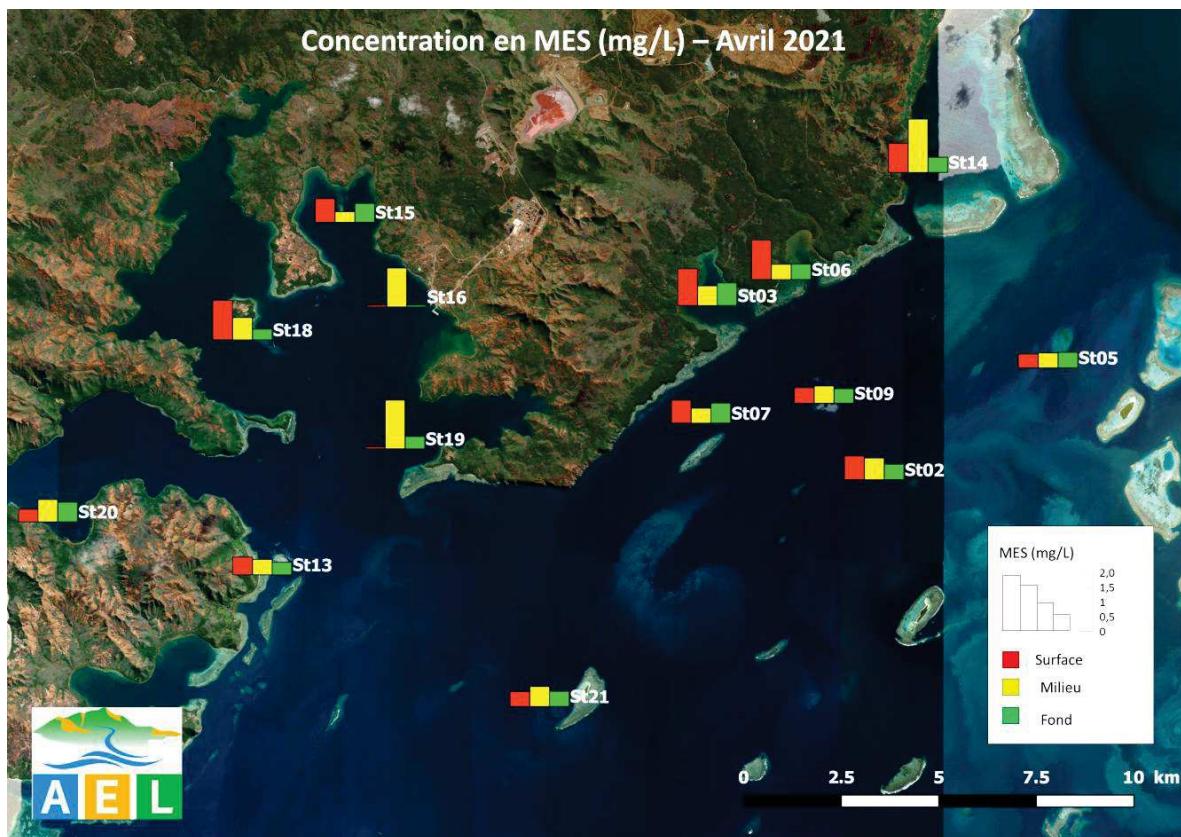


Figure 9: Distribution des concentrations de matières en suspension (MES) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

D. SELS NUTRITIFS

Note : Le périmètre de certification est étendu aux analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer grâce à la validation des méthodes de dosage des nitrates, nitrites, azote total, phosphore total et silicates (2017). Ainsi, certains domaines d'application et limites de quantification ont évolué (voir Annexe 1).

Les concentrations en sels nutritifs de la campagne semestrielle d'avril 2021 sont regroupées dans les Figures 10, 11, 12 ainsi que dans le Tableau 5 et l'Annexe 4.

1. Nitrates et nitrites

Rappel : L'ion nitrate (NO_3^-) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Les ions nitrates entrent dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton qui, une fois dégradé par les bactéries, restitue au système l'azote sous forme minérale (à savoir le NO_3^-). La vitesse de régénération peut être parfois différente de la vitesse d'utilisation, il en résulte des concentrations en NO_3^- variables qui peuvent être un facteur influençant la croissance du phytoplancton.

La moyenne de ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), toutes stations confondues, atteint une valeur de $1,13 \pm 0,80 \mu\text{mol/L}$, bien supérieure à la concentration moyenne de la saison fraîche 2020 ($0,28 \mu\text{mol/L}$), et indiquant une forte

saisonnalité des charges en nitrates et nitrites dans le milieu marin. Globalement, on constate de plus fortes concentrations dans les baies et proches des embouchures de rivières (ST15, ST06, ST14, Figure 10). Sur la verticale, aucun gradient organisé lié à la profondeur n'apparaît vraiment.

En effet, lors de cette campagne, les concentrations en $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ les plus importantes sont mesurées en fond de baies, tant au niveau des baies du Canal, avec une moyenne de $1,61 \pm 0,71 \mu\text{mol/L}$, comme en Rade du Nord (ST15), voire à Port de Goro (ST14) (Figure 10 et Tableau 5). Toutefois, la valeur maximale enregistrée est mesurée le long de la bordure sud du Canal de la Havannah, à mi-profondeur, en station ST02 (2,62 $\mu\text{mol/L}$).

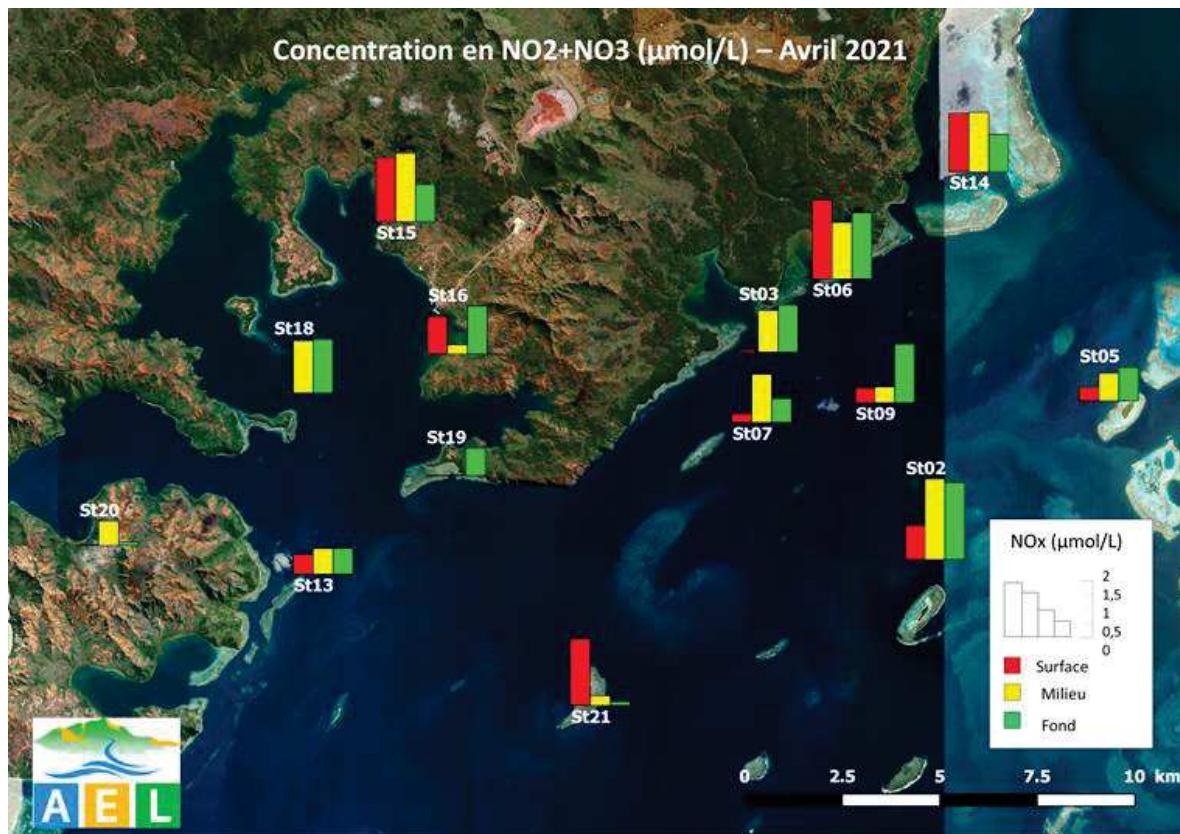


Figure 10: Distribution des concentrations en nitrates et nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) en $\mu\text{mol/L}$ dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

2. Ammonium

Rappel: Dans le milieu marin, la forme prépondérante de l'azote ammoniacal est l'ammonium (NH_4^+). Naturellement, il provient des excréptions animales et de la dégradation bactérienne des composés organiques azotés. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles, de l'ordre de la dizaine de nmol/L .

La répartition spatiale de l'ammonium dans l'aire d'étude est assez variable, contrairement aux observations de 2020, qui montraient un clair gradient de concentration vers les couches du fond. Pour cette campagne, les concentrations maximales apparaissent clairement, soit à mi-profondeur (ST09 et ST18), soit en surface (ST03 et ST14, voire ST06) (Figure 11). Les valeurs moyennes les plus fortes sont obtenues en baie du Prony, avec des pics de concentration à mi-profondeur ou au fond, voire en surface, seule la station ST16 montrant des valeurs homogènes sur toute la verticale. Les valeurs moyennes les plus faibles étant observées dans le Canal de la Havannah, paradoxalement la couche de mi-profondeur de la station ST09 enregistrant la valeur maximale de cette campagne.

Globalement, l'ordre de grandeur des concentrations en NH_4^+ obtenues est similaire aux données acquises lors des campagnes précédentes en saison chaude.

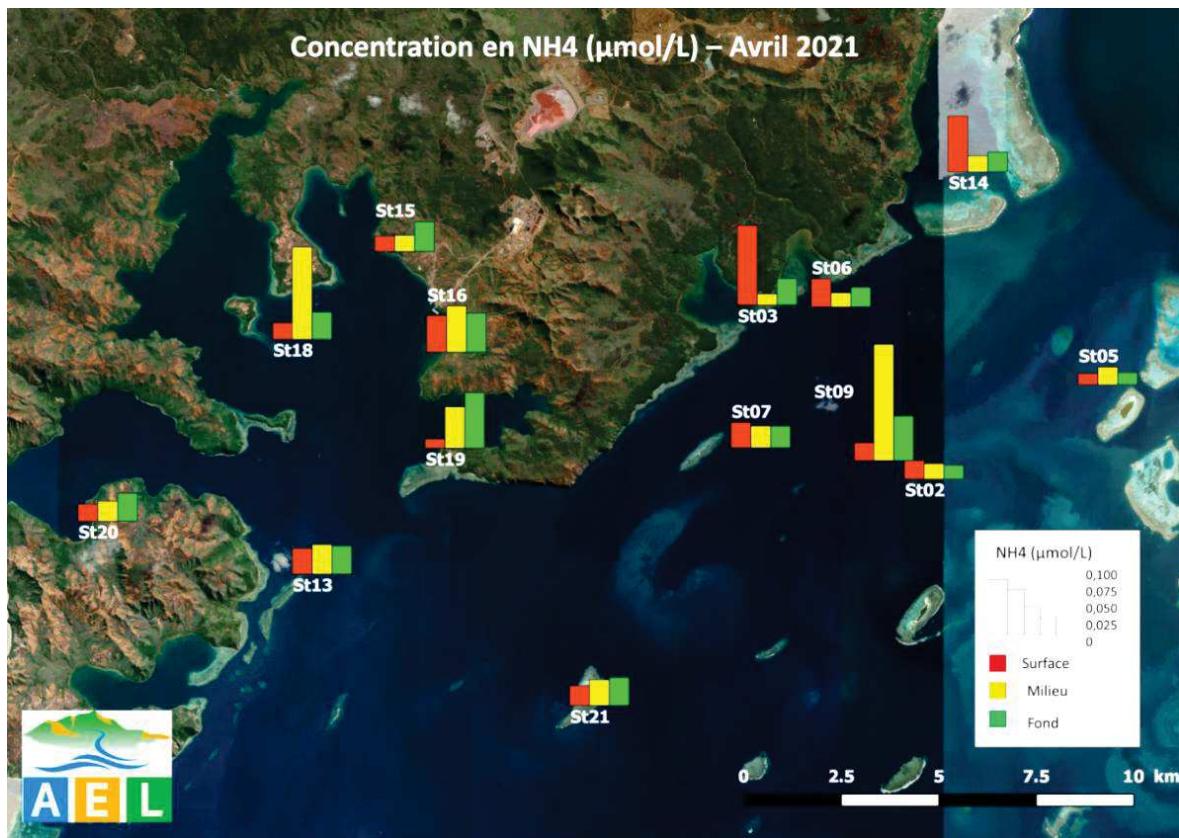


Figure 11: Distribution des concentrations en ammonium (NH_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

3. Phosphates

Rappel : Dans l'eau de mer, le phosphore dissous est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{2-}). Les teneurs sont généralement très faibles en surface et augmentent avec la profondeur au-dessous de la zone euphotique (la zone euphotique correspond à la hauteur d'eau superficielle qui reçoit suffisamment de lumière pour que la production végétale y excède les pertes). En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène et/ou anthropique.

Pour cette campagne « saison chaude », les concentrations en PO_4^{2-} sont quelque peu plus élevées que d'ordinaire à cette époque de l'année (moyenne $0,11 \pm 0,05 \mu\text{mol/L}$ contre $0,07 \pm 0,02 \mu\text{mol/L}$ en saison chaude 2020).

Globalement, les concentrations les plus élevées (Figure 12) sont mesurées dans une moitié nord-est de l'aire d'étude alors que les plus faibles sont observées au sud-ouest. Les maximales sont retrouvées au milieu de la colonne d'eau aux stations ST18 (Ilot Casy), ST16 (Port de Prony) proches de la ligne de côte, voire ST09 (Canal de la Havannah) ; ces pics de concentrations coïncident avec les maxima observés pour l'ammonium. Il est probable que l'influence terrigène, que peut traduire la présence de PO_4^{2-} , soit liée aux précipitations enregistrées les jours précédant la campagne, relayée par le transport des eaux enrichies depuis les embouchures des rivières en direction du large, puis aux mécanismes de la diffusion verticale du panache.

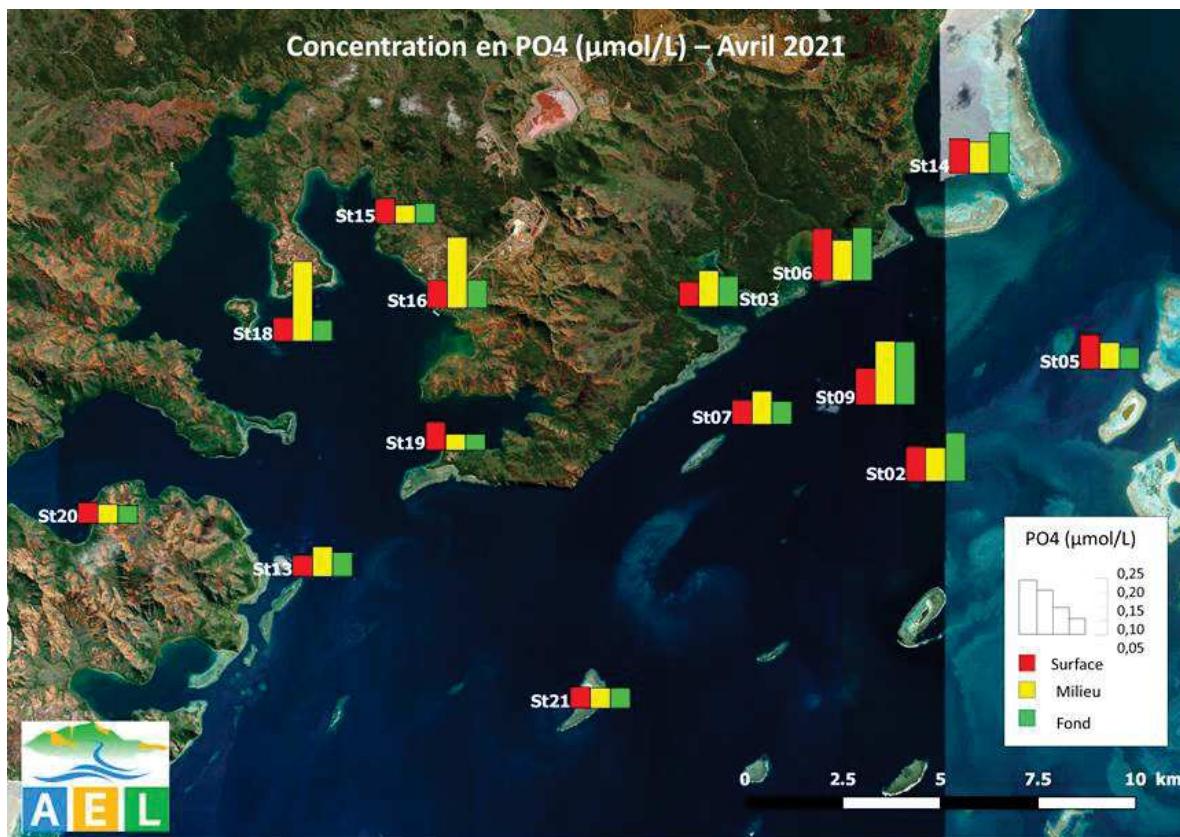


Figure 12 : Distribution des concentrations en phosphates (PO_4^{+}) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

4. Silicates

Exception faite des eaux de surface, les concentrations en silicates montrent une forte homogénéité dans leur répartition, à la fois géographique et verticale (Figure 13) ; tout niveau et station confondus, la moyenne est de $4,18 \pm 4,15 \mu\text{mol/L}$. En effet, les maxima très conséquents sont enregistrés en surface des stations des baies, notamment à Prony, avec une valeur de $19,82 \mu\text{mol/L}$ en ST16, alors que toutes les eaux de mi-profondeur et de fond atteignent à peine $3 \mu\text{mol/L}$. Les stations du Canal de la Havannah présentent, quant à elles, les plus faibles concentrations en silicates, traduisant ainsi l'absence d'influence terrigène même pour les eaux de surface (Figure 13 et Tableau 5)

Ce qu'il faut retenir :

La quantification des sels nutritifs réalisée sur l'ensemble de la zone montre des répartitions bien distinctes.

Pour les nitrates et nitrites, la tendance est à l'accumulation au niveau des stations proches d'apports fluviaux traduisant les influences terrigènes majoritairement. Pour l'ammonium, cette tendance est moins marquée mais les charges maximales sont rencontrées également dans les fonds de baies. Paradoxalement, l'un comme l'autre de ces éléments montrent des concentrations proches des maxima dans le Canal de la Havannah (ST02 pour les NO_x et ST09 pour NH_4^+).

Les concentrations en ammonium et en phosphate présentent des répartitions très similaires, avec des maximums mesurés à mi-profondeur des stations côtières et/ou au droit d'embouchures de rivières.

Les concentrations en silicates, signature des phénomènes de lixiviation des sols latéritiques, montrent très clairement des maximaux aux stations localisées au droit des embouchures, traduisant de fait, les conséquences des précipitations enregistrées les jours précédant la campagne de prélèvements.

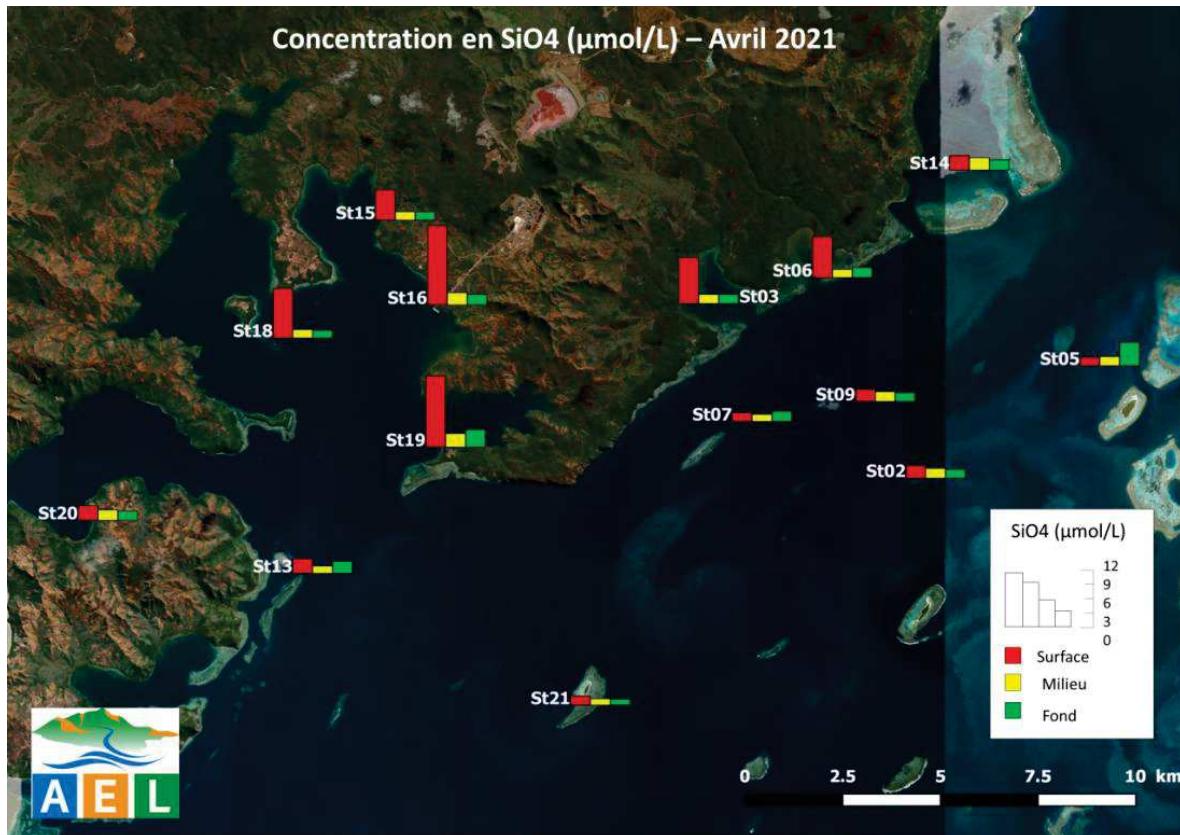


Figure 13 : Distribution des concentrations en silicates (SiO_4) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

Tableau 5 : Statistiques des concentrations en sels nutritifs mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021)

Zone d'étude	Statistique	Sels nutritifs ($\mu\text{mol/L}$)			
		NO_3+NO_2	NH_4	PO_4	SiO_4
Canal de la Havannah	Minimum	0,117	0,024	0,069	1,580
	Maximum	2,616	0,247	0,219	5,880
	Moyenne	1,119	0,058	0,116	2,550
	Ecart-type	0,837	0,055	0,050	1,024
Baies du Canal	Minimum	0,056	0,023	0,086	2,030
	Maximum	2,571	0,169	0,184	11,490
	Moyenne	1,613	0,064	0,131	4,481
	Ecart-type	0,715	0,048	0,033	3,667
Baie du Prony	Minimum	0,00	0,019	0,055	1,980
	Maximum	2,22	0,196	0,275	19,820
	Moyenne	1,08	0,075	0,107	6,627
	Ecart-type	0,82	0,048	0,073	6,463
Ile Ouen	Minimum	0,02	0,036	0,063	1,910
	Maximum	0,83	0,063	0,103	3,710
	Moyenne	0,54	0,053	0,077	2,892
	Ecart-type	0,37	0,011	0,015	0,709

E. MATIÈRES ORGANIQUES

Les concentrations en matières organiques dissoutes et particulaires mesurées lors de la campagne semestrielle d'avril 2021 sont regroupées dans les Figures 14 à 18 ainsi que dans le Tableau 6 et l'Annexe 5.

1. Azote et phosphore organiques dissous

Rappel : La contribution naturelle de l'azote et du phosphore organique provient de la dégradation de matière biogénique, qu'elle soit d'origine océanique ou terrestre, voire éolienne. D'une manière générale, la concentration en composés organiques dissous est très faible, particulièrement dans l'océan ouvert. La concentration en azote et phosphore dissous est obtenue par soustraction des autres formes à l'azote et au phosphore total, respectivement.

La répartition spatiale de l'azote dissous est très hétérogène sur l'ensemble de l'aire d'étude (Figure 14), la concentration moyenne, inter-stations et toutes profondeurs confondues, atteint $11,87 \pm 15,17 \mu\text{mol/L}$. Le secteur nord-est de la zone d'étude enregistre les concentrations maximales et aucun gradient côte-large ne peut être distingué. Les stations des baies de Port Boisé et de la Kwé sont les seules à enregistrer de fortes concentrations en azote dissous dans les eaux de surface, mais ces sont les stations plus au large (ST02 et ST09 du canal de la Havannah) qui présentent les concentrations maximales ($61,72 \mu\text{mol/L}$ pour ST09). Dans le secteur sud-ouest de la zone d'étude, les concentrations sont particulièrement faibles, sans gradient côte-large, ni avec la profondeur.

Le phosphore organique dissous (Figure 15) est réparti de manière bien plus homogène, mais aucune structuration spatiale systématique n'est visible ; la moyenne générale est de $0,35 \mu\text{mol/L}$ avec un écart type de $0,16 \mu\text{mol/L}$. La valeur maximale de phosphore dissous est retrouvée en profondeur de la station ST21 ($0,67 \mu\text{mol/L}$).

Note : Les très faibles valeurs indiquent que majoritairement le phosphore se présente sous des formes particulières et/ou minérales (PO_4^{2-}).

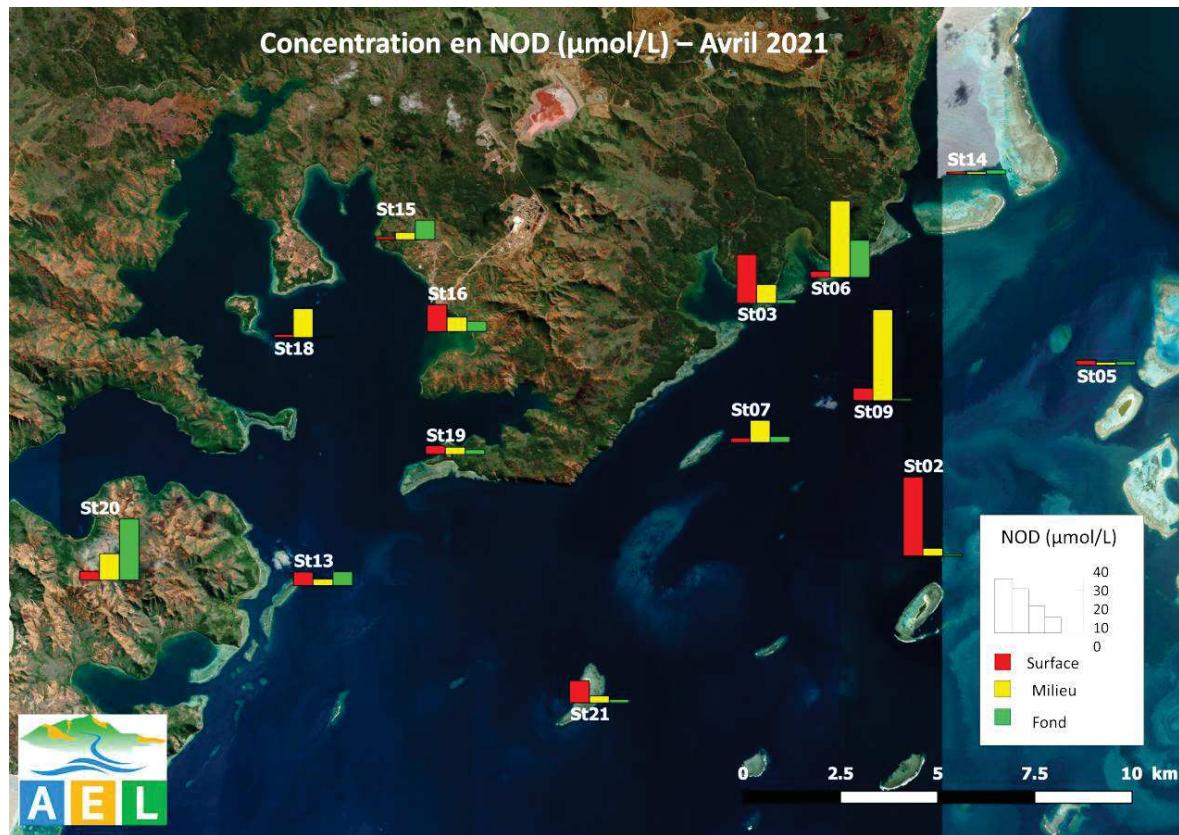


Figure 14 : Distribution des concentrations en azote organique dissous (NOD) dans la zone sud du lagon du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

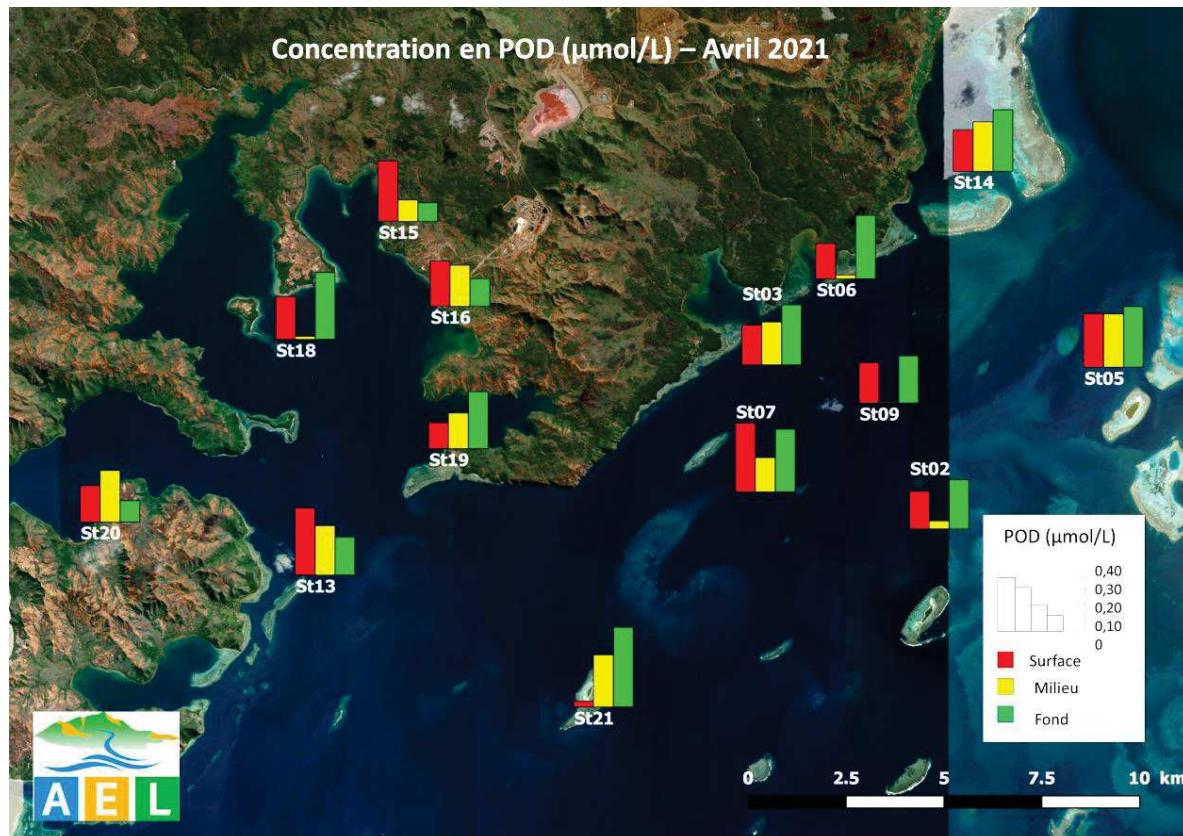


Figure 15 : Distribution des concentrations en phosphore organique dissous (POD) dans le lagon sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

2. Azote (NOP), carbone (COP) et phosphore (POP) organiques particulaires

Rappel : La fraction particulaire de ces éléments constitue des matières en suspension de tailles diverses transportées au sein des masses d'eau. Leur origine est également océanique, terrestre voire éolienne. Les concentrations présentent d'ordinaire un gradient « côte-large » et peuvent montrer des discontinuités verticales en fonction de l'existence de couches turbides.

Note : La distinction entre la matière dissoute et particulaire est arbitraire. Cependant, les études environnementales fixent généralement la limite de taille à 0,45 µm (Strickland et Parsons 1972). Grâce à des filtres la charge organique particulaire est récupérée et analysée.

L'azote organique sous forme particulaire est moins présent que sa forme dissoute, il atteint pour toute la zone d'étude une moyenne de $1,02 \pm 0,43 \mu\text{mol/L}$. Cependant, à l'instar de sa forme dissoute, la répartition de l'azote particulaire est relativement hétérogène dans l'aire considérée (Figure 16), avec toutefois des valeurs maximales obtenues en surface dans la partie Est de la zone d'étude (ST02, ST14, ST16) qui tendent à diminuer en profondeur ; aucun gradient côte-large n'est clairement marqué. La distribution verticale des concentrations a déjà été observée lors des précédentes campagnes de suivi.

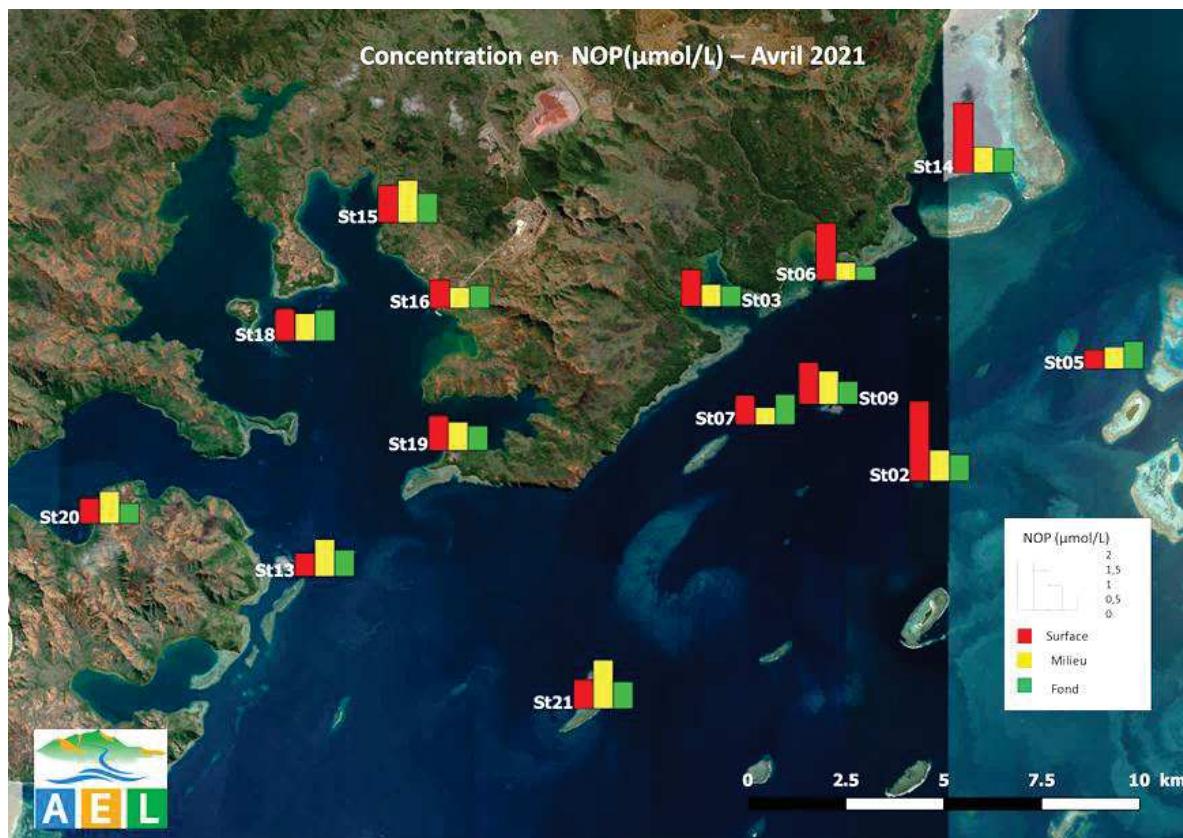


Figure 16: Distribution des concentrations en azote organique particulaire (NOP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

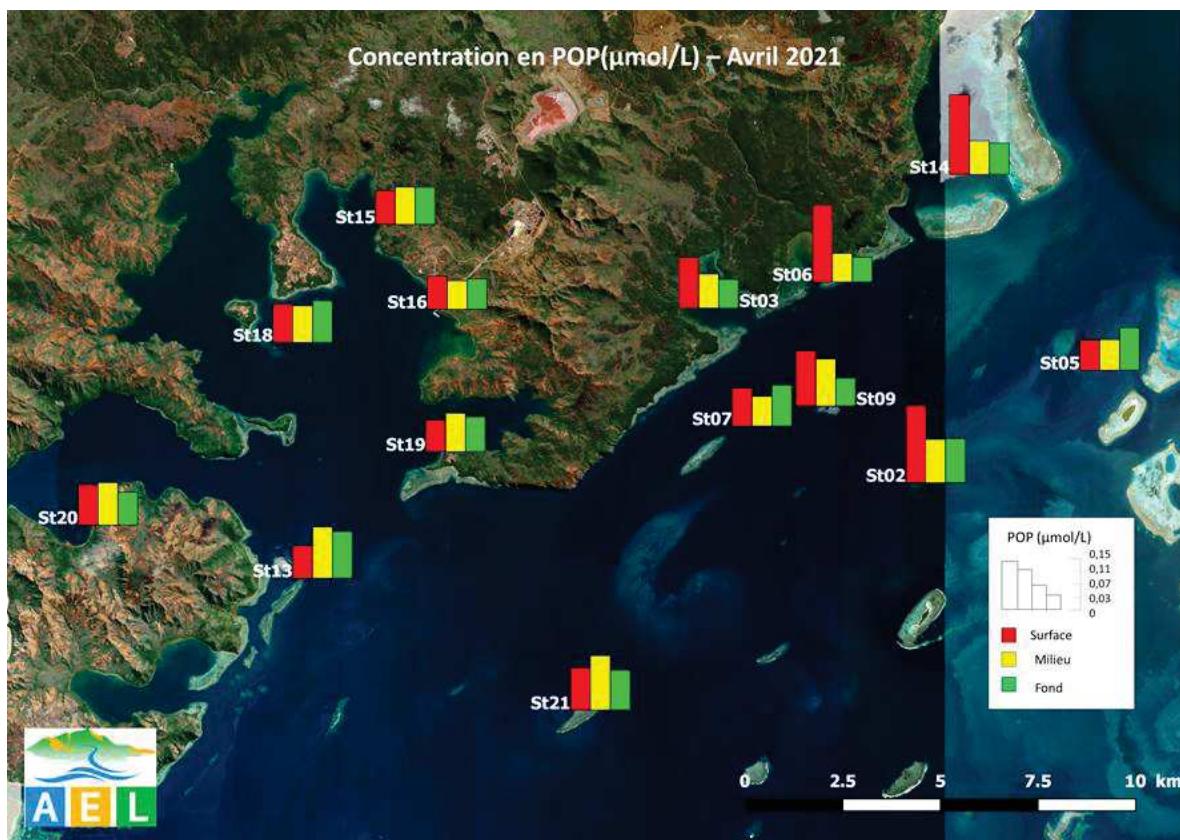


Figure 17 : Distribution des concentrations en phosphore organique particulaire (POP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

Les concentrations en phosphore organique particulaire, (Tableau 6 et Figure 17) sont elles aussi, un ordre de grandeur inférieur à la forme dissoute. La répartition des concentrations s'aligne sur celle des concentrations en NOP (Figure 17). En effet, les concentrations maximales sont obtenues en surface des stations du secteur Est de la zone d'étude (ST14, ST06, ST02...) avec un gradient en fonction de la profondeur. Dans le secteur Ouest, aucun gradient vertical n'est perceptible, la colonne d'eau est relativement homogène.

Le carbone organique particulaire (Figure 18) est présent sur la totalité du domaine avec une moyenne de $6,37 \pm 3,05 \mu\text{mol/L}$. Cette valeur moyenne est presque deux fois inférieure à celle obtenue en saison fraîche 2020, exception faite de la station ST02, une nouvelle fois, où en surface et à mi-profondeur les concentrations sont maximales ($24,98 \mu\text{mol/L}$ et $24,15 \mu\text{mol/L}$ respectivement). De telles grandeurs ne sont pas aberrantes puisque des valeurs plus fortes encore sont retrouvées très épisodiquement dans ce même secteur : $69,16 \mu\text{mol/L}$ en ST21 en Août 2018 ; $34,71 \mu\text{mol/L}$ en ST06, Août 2016 ; $65,08 \mu\text{mol/L}$ en ST13, Août 2014 Toutefois ces valeurs ont toujours été obtenues en profondeur.

Aucun gradient côte-large n'est démontré, et aucune tendance à l'augmentation ou à la diminution des concentrations avec la profondeur ne peut être déduite.

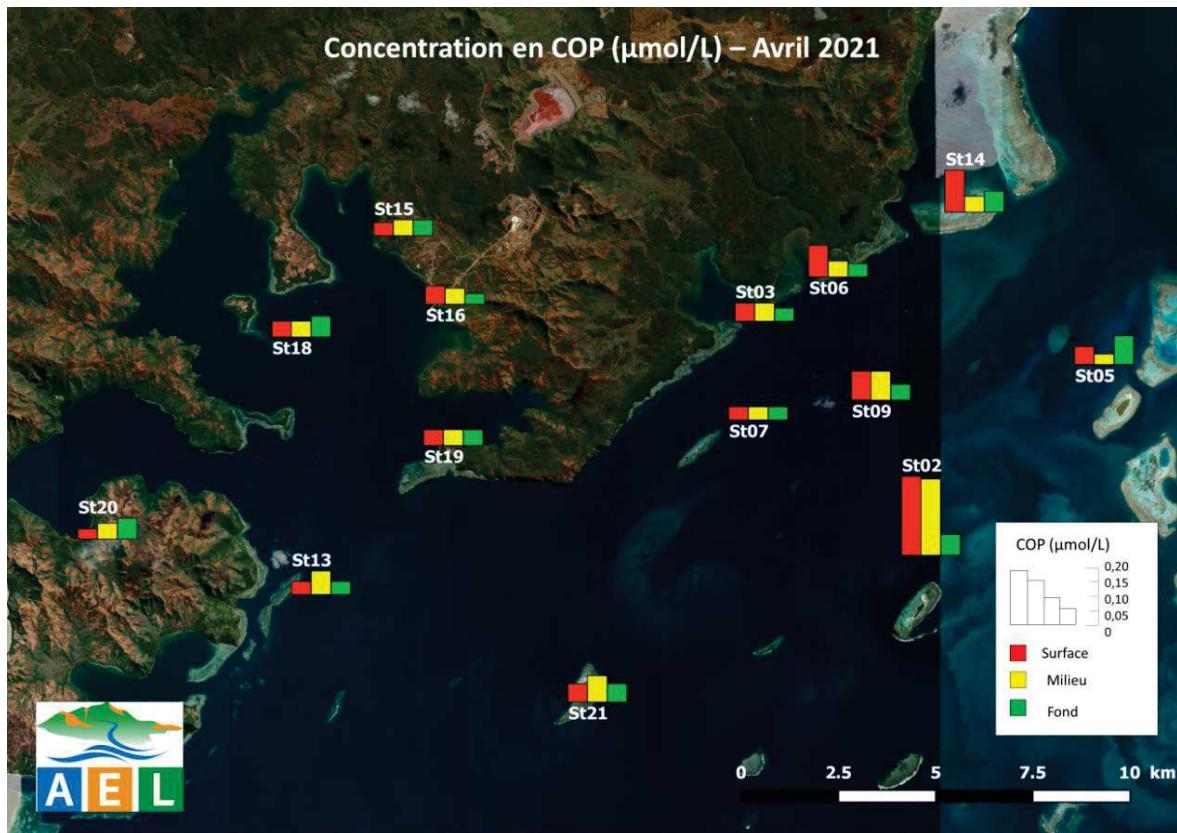


Figure 18 : Distribution des concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

Tableau 6 : Statistique des concentrations de matières organiques dissoutes et particulières mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (μmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Canal de la Havannah	Minimum	1,19	0,56	0,01	0,05	3,33
	Maximum	61,71	2,64	0,67	0,14	24,98
	Moyenne	12,23	1,07	0,36	0,08	8,66
	Ecart-type	19,04	0,51	0,19	0,02	6,75
Baie Canal	Minimum	1,340	0,46	0,03	0,04	4,16
	Maximum	51,94	2,31	0,53	0,14	13,32
	Moyenne	15,04	1,06	0,37	0,08	6,66
	Ecart-type	17,97	0,63	0,15	0,04	3,06
Baie du Prony	Minimum	0,50	0,68	0,03	0,05	3,33
	Maximum	19,50	1,41	0,56	0,08	6,66
	Moyenne	7,59	0,99	0,31	0,06	5,00
	Ecart-type	6,31	0,21	0,16	0,01	0,79
Ile Ouen	Minimum	4,54	0,67	0,18	0,06	3,33
	Maximum	41,64	1,23	0,56	0,09	7,49
	Moyenne	14,75	0,91	0,37	0,07	5,13
	Ecart-type	13,96	0,20	0,13	0,01	1,62

F. CHLOROPHYLLE A

Rappel : La chlorophylle est indispensable à la photosynthèse des algues, son dosage permet donc d'estimer la biomasse phyto-planctonique et, de ce fait, le niveau trophique (oligotrophie/eutrophie) du milieu (Fichez et al, 2005). Sa dégradation produit de nombreux composés, dont principalement les phéopigments.

Les concentrations en *chlorophylle-a* déterminées lors de la campagne d'avril 2021 sont représentées en Figure 17 et dans le Tableau 7, ainsi qu'en Annexe 5.

Tableau 7: Statistique des concentrations de chlorophylle a mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)
Canal de la Havannah	Minimum	0,062
	Maximum	0,615
	Moyenne	0,196
	Ecart-type	0,168
Baie Canal	Minimum	0,112
	Maximum	0,464
	Moyenne	0,256
	Ecart-type	0,123
Baie du Prony	Minimum	0,020
	Maximum	0,539
	Moyenne	0,205
	Ecart-type	0,128
Ile Ouen	Minimum	0,102
	Maximum	0,388
	Moyenne	0,237
	Ecart-type	0,106

Les concentrations oscillent entre 0,020 et 0,615 µg/L, avec une moyenne de $0,256 \pm 0,123$ µg/L pour les baies, supportée surtout par les valeurs de la station ST03 (Port Boisé), et une moyenne plus faible pour les eaux du canal de la Havannah lui-même ($0,196 \pm 0,168$ µg/L), marqué par une plus forte hétérogénéité intra zone.

Certaines stations enregistrent des valeurs très fortes en *chlorophylle-a* à mi-profondeur (ST21, ST07, ST03), sans distinction de zones (Stations côtières et du large).

La répartition spatiale est assez discontinue, aucun gradient n'est mis en évidence, que ce soit de la côte vers le large ou avec la profondeur.

Note : une relative corrélation entre les concentrations des échantillons ponctuels et avec les profils de fluorescence réalisés avec la sonde CTD.

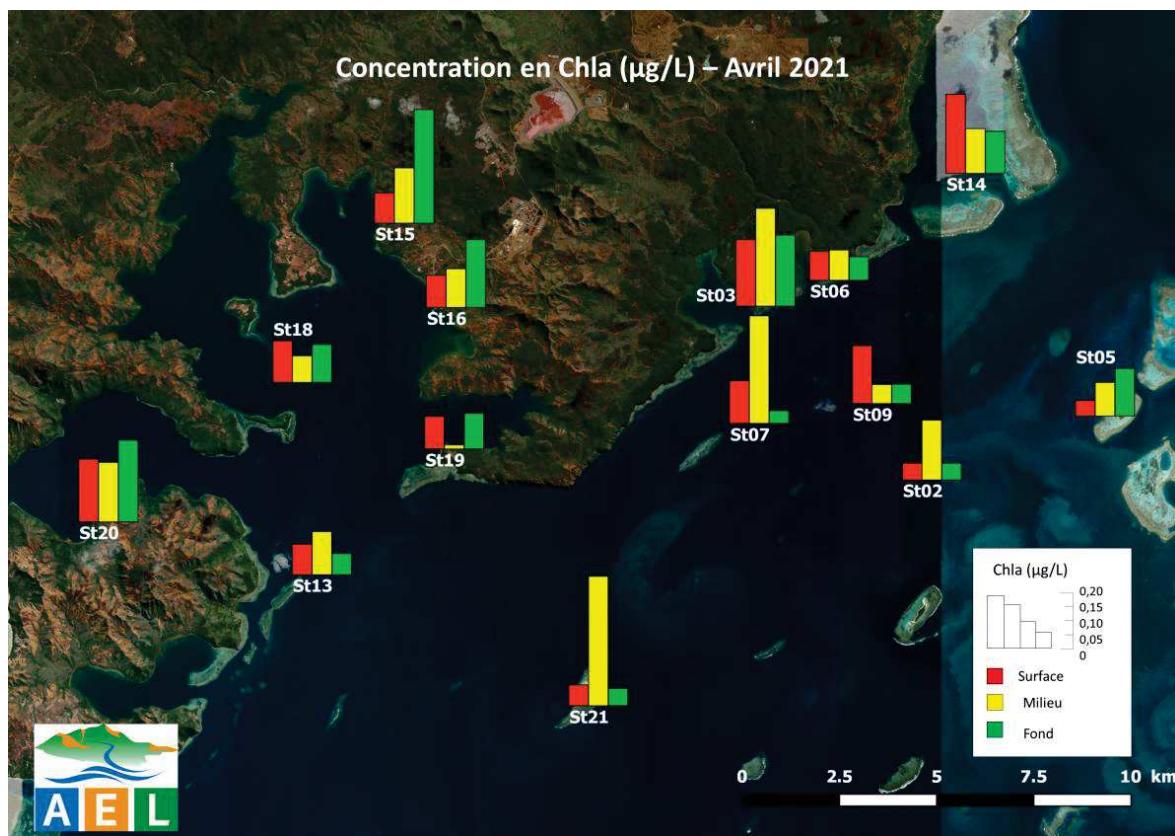


Figure 19: Distribution des concentrations en chlorophylle a dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2021.

Ce qu'il faut retenir :

Les concentrations en matières organiques ne semblent pas clairement associées à l'influence terrigène. Aucun gradient « côte-large » n'est franchement marqué pour cette campagne en saison chaude. Globalement, les secteurs Est et Ouest contrastent par leurs niveaux de concentrations en matières organiques ; elles sont plus élevées dans le premier, indiquant probablement une conjonction d'influence entre les apports terrigènes des creeks (bassin versant de la rivière Kwe) et les eaux océaniques enrichies au passage du récif barrière.

Les concentrations en Chlorophylle-*a* sont très hétérogènes sur la verticale, avec pour quasiment chaque station de forts écarts entre les concentrations des différents paliers de profondeur. Les concentrations moyennes maximales sont trouvées aux stations côtières.

G. MÉTAUX DISSOUS

Les concentrations en métaux dissous obtenues lors de la campagne semestrielle d'avril 2021 sont regroupées dans les Figures 20 à 28, les tableaux 8 et 9 ainsi qu'en Annexe 6. Il ressort des analyses que :

- Les concentrations en As moyennées pour chaque zone étudiée montrent une relative homogénéité spatiale (Tableau 8 et Figure 20). Les valeurs s'échelonnent entre 1,23 et 1,86 µg/L, avec une moyenne globale de $1,57 \pm 0,15$ µg/L. Ces valeurs sont en adéquation avec celles obtenues lors des campagnes précédentes, en saison fraîche et saison chaude ; l'arsenic est un élément dit « ubiquiste », l'homogénéité des concentrations étant également observable avec la profondeur (Figure 20) ;

- Les concentrations en cadmium sont toutes en dessous de la limite de quantification (0,025 µg/L) ;
- La grande majorité des concentrations en cobalt sont également en deçà de la limite de quantification (0,027 µg/L), à l'exception des stations de la baie du Prony et des baies du Canal (Figure 21 et Annexe 6), avec un maximum de 0,11 µg/L en surface de ST03. Ces valeurs démontrent clairement un impact des activités anthropiques sur la charge en cobalt transportée par l'eau de ruissellement, comme conséquence des précipitations du 19/04 ;
- La tendance est similaire pour les concentrations en chrome-VI et en chrome total (Figures 22 et 23), avec des maximums dans les stations des baies sous influence directe de l'activité minière, en revanche, ces fortes concentrations ne sont observées qu'en surface ;
- Les concentrations en cuivre (Figure 24) sont difficilement interprétables en raison de leur variabilité. La concentration moyenne de $0,11 \pm 0,12$ µg/L est située bien au-dessus de la limite de quantification rarement atteinte lors des campagnes précédentes. Un maximum de 0,57 µg/L est atteint dans la couche de fond à la station ST15 (Rade du Nord) et en surface en ST03 (Port Boisé) avec 0,53 µg/L. Dans les deux cas, ces concentrations sont enregistrées dans les stations de baie ;
- Les concentrations en Fe^{2+} sont majoritairement sous la limite de quantification (0,059 µg/L) ; les seules concentrations quantifiables ont été observées en ST07 en profondeur, en ST19 et ST20 à mi-profondeur, ainsi qu'en ST09 en surface (Figure 25) ;
- La concentration moyenne globale en manganèse est inférieure à 0,11 µg/L, mais elle est associée à une forte hétérogénéité dans les répartitions horizontale et verticale des valeurs. Le Mn montre un clair contraste entre les valeurs obtenues pour les stations du large (Canal de la Havannah et Ile Ouen, avec respectivement des moyennes <0,057 µg/L et 0,081 µg/L) et les stations des baies (moyenne de 0,128 µg/L pour les baies du Canal et de 0,174 µg/L pour la baie du Prony). Le gradient côte-large est donc très marqué auquel s'ajoute un deuxième gradient surface-fond tout aussi prononcé, traduisant à eux deux l'empreinte terrigène dans le milieu marin (Figure 26). Alors que de fortes concentrations sont enregistrées en surface des stations ST03 et ST06, voire ST14 (et peut-être dans une moindre mesure ST09), les stations de la baie du Prony ne montrent pas d'organisation verticale bien définie, indiquant probablement un effet de mélange de l'élément Mn dans la colonne d'eau comme résultat de son comportement géochimique (coprécipitation) ;
- Les concentrations en Nickel suivent une tendance plus contrastée que celle de Mn avec une concentration moyenne de 0,124 µg/L pour le Canal de la Havannah et de 0,223 µg/L pour l'Ile Ouen, contre des valeurs moyennes de 0,479 et 0,378 µg/L pour la baie du Prony et les baies du Canal, respectivement. Le gradient côte-large est très marqué pour le Ni (Figure 27), confirmant ainsi l'influence des apports terrigènes sur les stations les plus proches de la côte de la Grande Terre. A l'inverse de Mn, le Ni semble demeurer dans la couche de surface, et être moins soumis que le Mn au mélange vertical.

Tableau 8 : Statistique des concentrations en métaux dissous (As, Cd²⁺, Co²⁺, Cr⁶⁺, Cr_{total} et Cu²⁺) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr-total	Cu
Canal de la Havannah	Minimum	1,380	<0,025	<0,027	0,111	0,174	<0,025
	Maximum	1,800	0,078	0,034	0,276	1,214	0,259
	Moyenne	1,621	<0,029	<0,027	0,168	0,317	<0,087
	Ecart-type	0,1	-	-	0,057	0,260	-
Baies du Canal	Minimum	1,230	<0,025	<0,027	0,132	0,198	<0,025
	Maximum	1,730	<0,025	0,105	2,210	2,290	0,526
	Moyenne	1,543	<0,025	<0,039	0,477	0,547	<0,106
	Ecart-type	0,182	-	-	0,711	0,716	-
Baie du Prony	Minimum	1,24	<0,025	<0,027	0,000	0,231	0,036
	Maximum	1,62	<0,025	0,084	1,110	2,970	0,573
	Moyenne	1,48	<0,025	<0,049	0,358	0,713	0,136
	Ecart-type	0,14	-	-	0,307	0,792	0,148
Ile Ouen	Minimum	1,33	<0,025	<0,027	0,193	0,198	<0,025
	Maximum	1,86	<0,025	0,037	0,329	0,435	0,221
	Moyenne	1,61	<0,025	<0,030	0,256	0,345	<0,111
	Ecart-type	0,18	-	-	0,050	0,085	-

Les LQ sont respectivement pour As : 1µg/L ; Cd : 0,025 µg/L ; Co : 0,027 µg/L ; Cr^{VI} : 0,05 µg/L, Cr-total : 0,05 µg/L et Cu : 0,025 µg/L

Tableau 9 : Statistique des concentrations en métaux dissous (Fe²⁺, Mn²⁺, Ni²⁺, Pb²⁺ et Zn²⁺) mesurées dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Canal de la Havannah	Minimum	<0,059	<0,028	0,058	<0,100	<1,070
	Maximum	0,082	0,123	0,325	0,652	3,431
	Moyenne	<0,061	<0,057	0,124	<0,235	<1,366
	Ecart-type	-	-	0,077	-	-
Baies du Canal	Minimum	<0,059	<0,028	0,075	<0,100	<1,070
	Maximum	0,059	0,407	1,855	0,252	2,670
	Moyenne	<0,059	0,128	0,379	<0,132	<1,353
	Ecart-type	-	-	0,600	-	-
Baie du Prony	Minimum	<0,059	<0,028	0,116	<0,100	<1,070
	Maximum	0,066	0,345	1,381	0,413	2,893
	Moyenne	<0,060	0,174	0,478	<0,138	<1,222
	Ecart-type	-	-	0,412	-	-
Ile Ouen	Minimum	<0,059	0,034	0,146	<0,100	<1,070
	Maximum	0,061	0,105	0,276	0,543	1,783
	Moyenne	<0,059	0,081	0,223	<0,237	<1,210
	Ecart-type	-	0,025	0,052	-	-

Les LQ sont respectivement pour Fe : 0,059 µg/L ; Mn : 0,028 µg/L, Ni : 0,022 µg/L ; Pb : 0,100 µg/L et Zn : 1 µg/L.

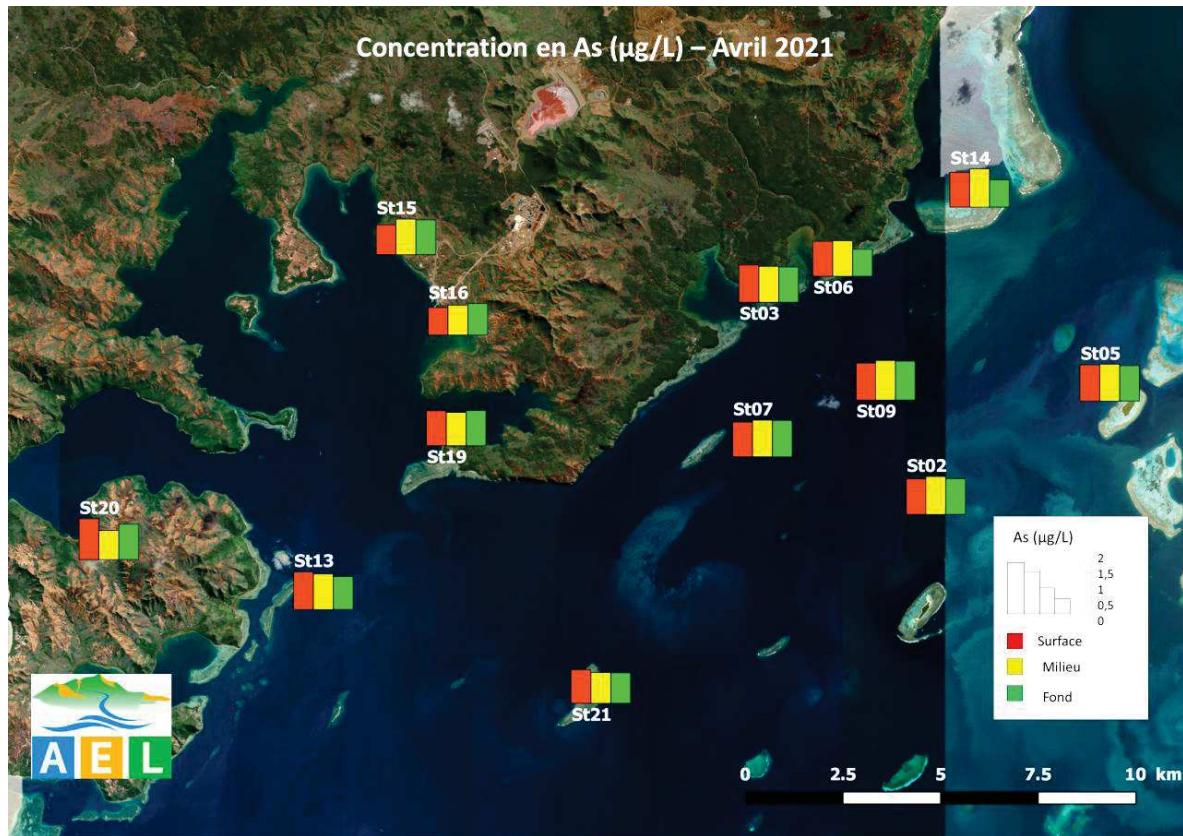


Figure 20: Distribution des concentrations en arsenic (As) en $\mu\text{g/L}$ dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

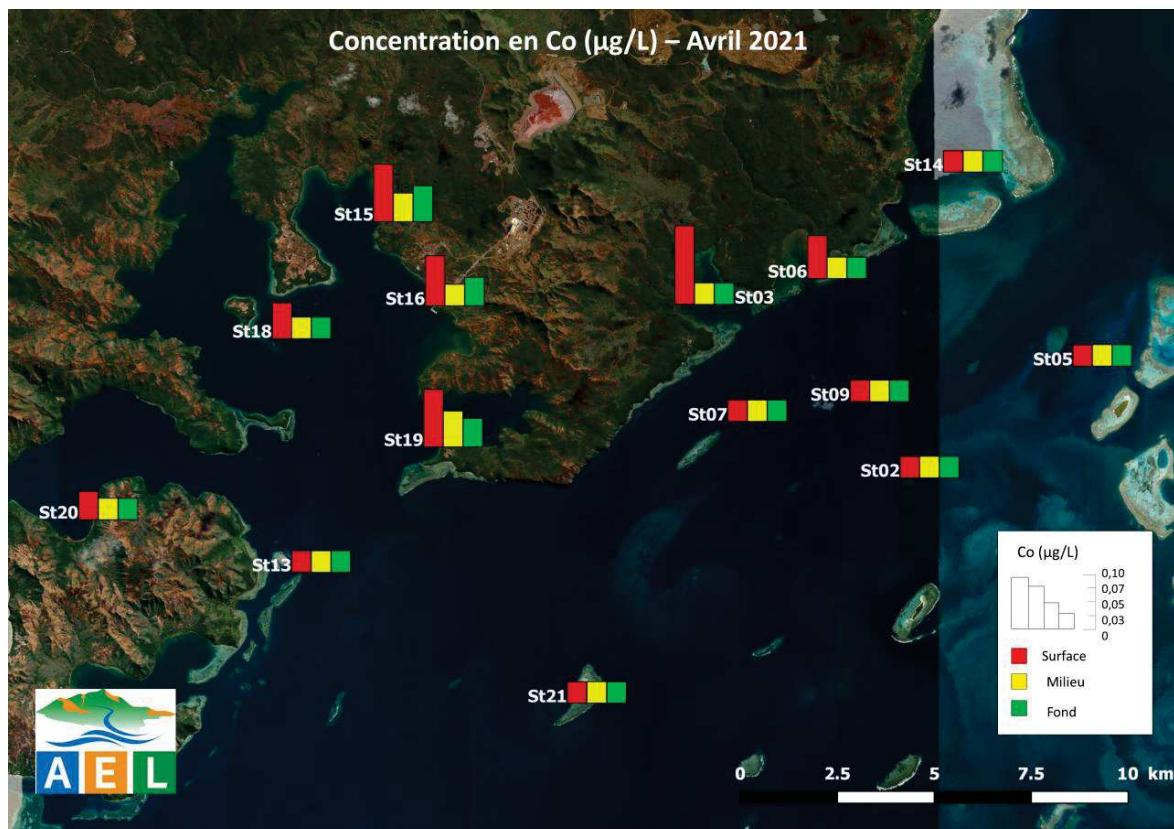


Figure 21 : Distribution des concentrations en cobalt (Co) en $\mu\text{g/L}$ dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (avril 2021).

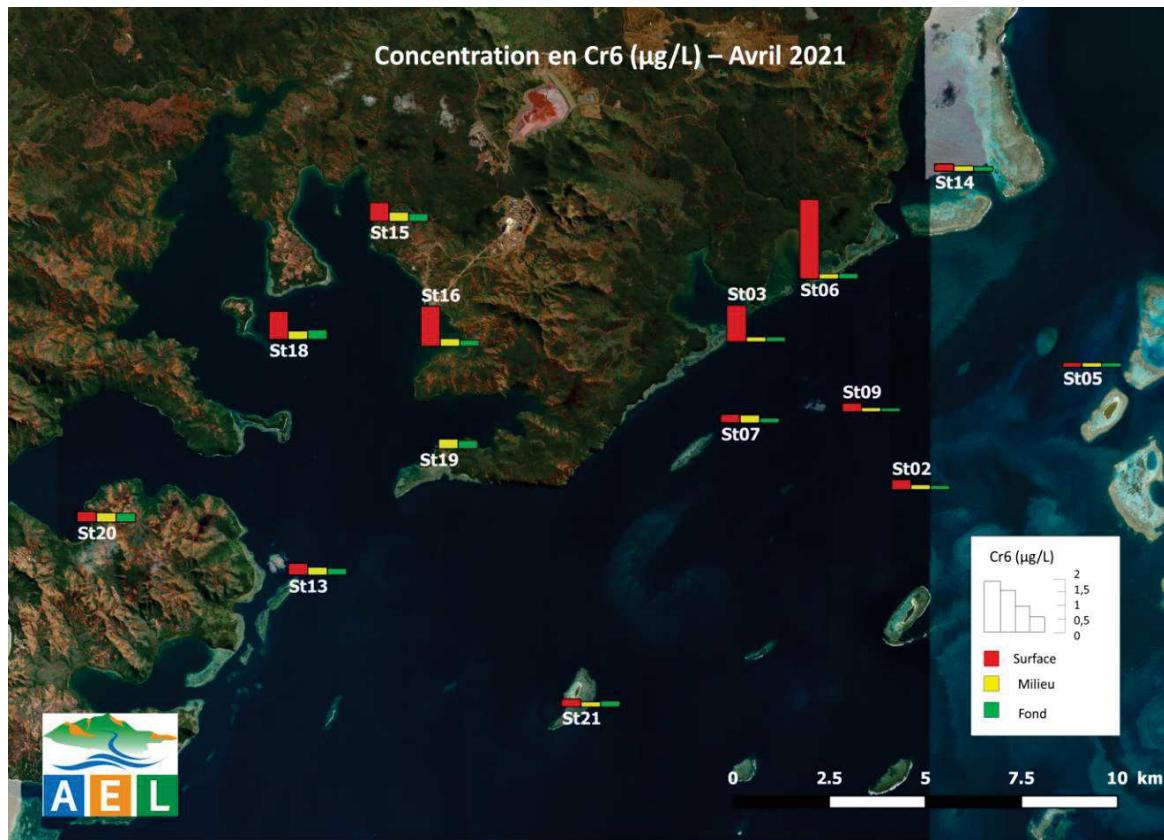


Figure 22: Distribution des concentrations en chrome (Cr^{6+}) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie (avril 2021).

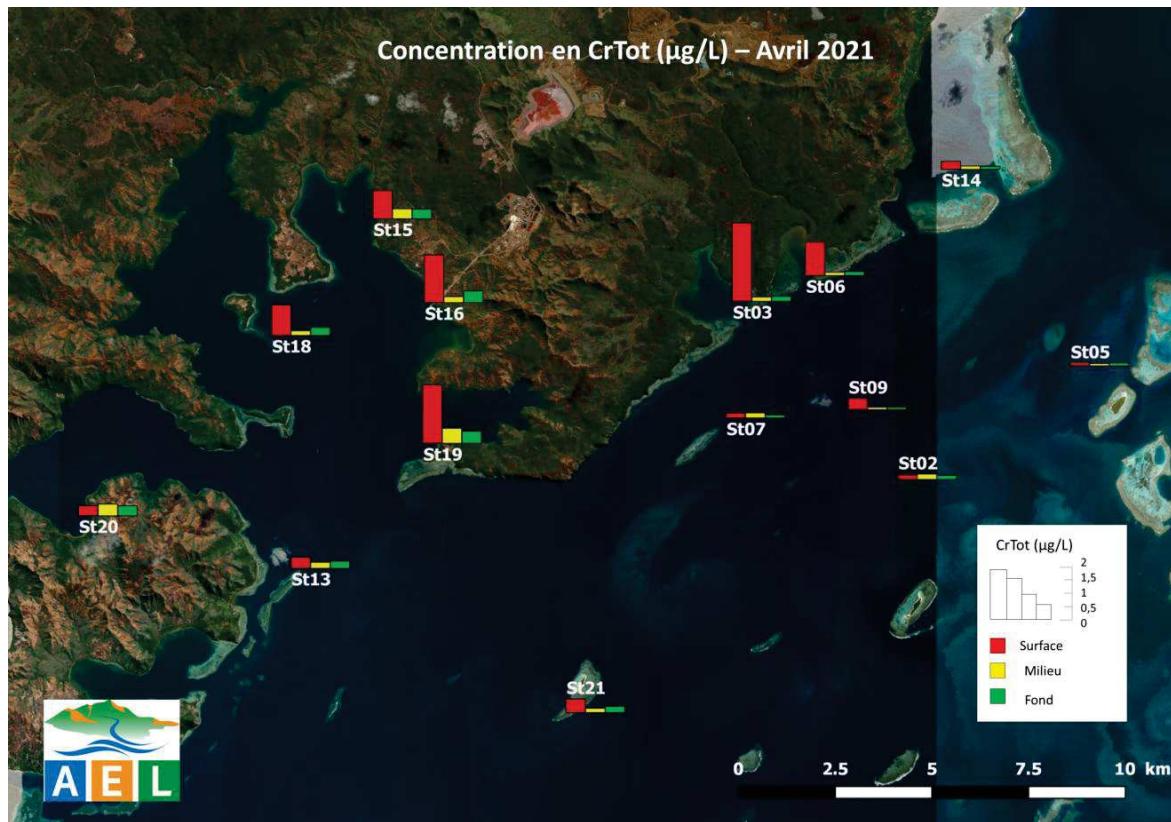


Figure 23: Distribution des concentrations en chrome total (Cr_{tot}) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie (avril 2021).

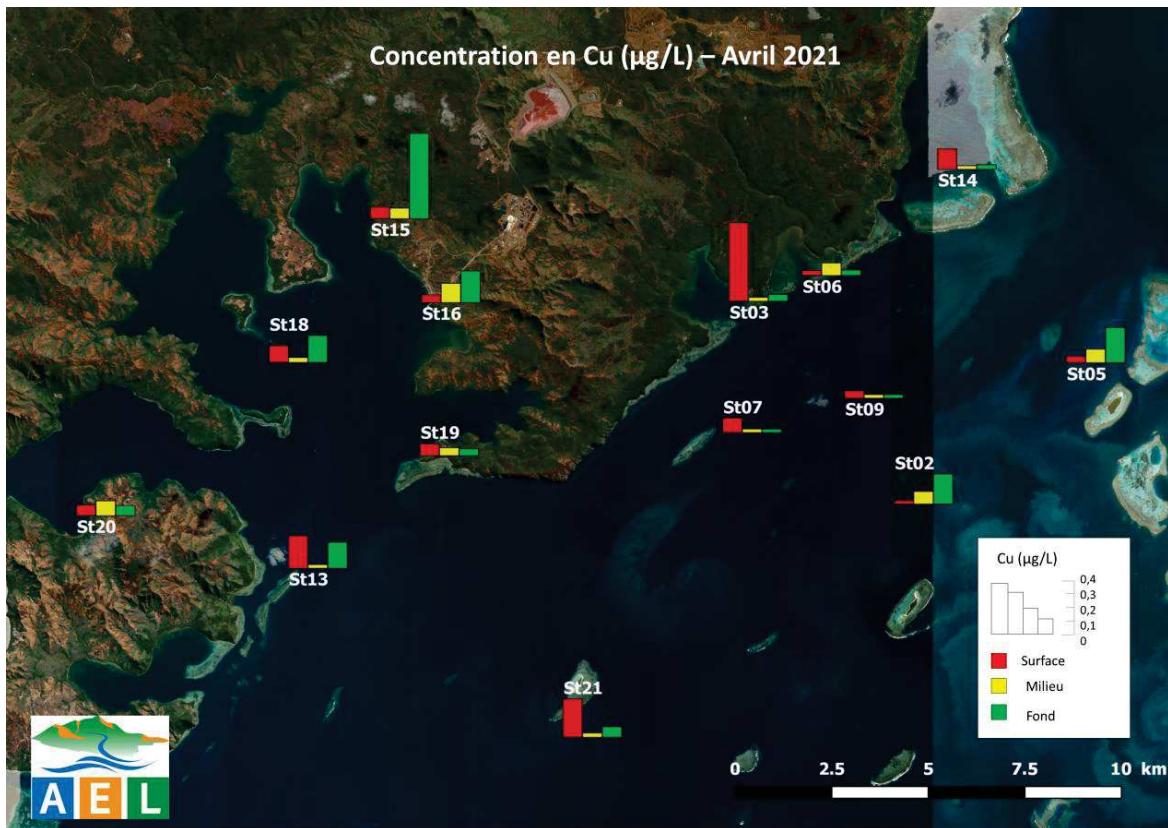


Figure 24: Distribution des concentrations en cuivre (Cu) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie (avril 2021).

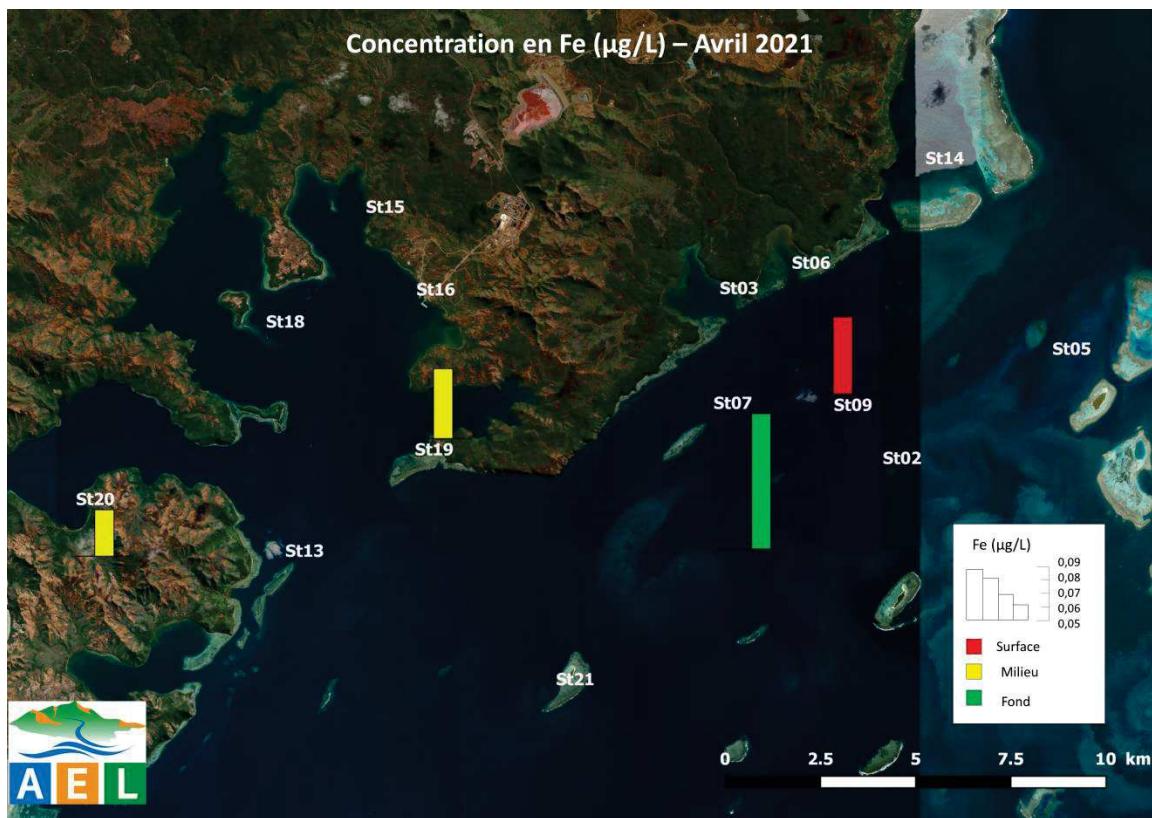


Figure 25: Distribution des concentrations en fer (Fe) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie (avril 2021).

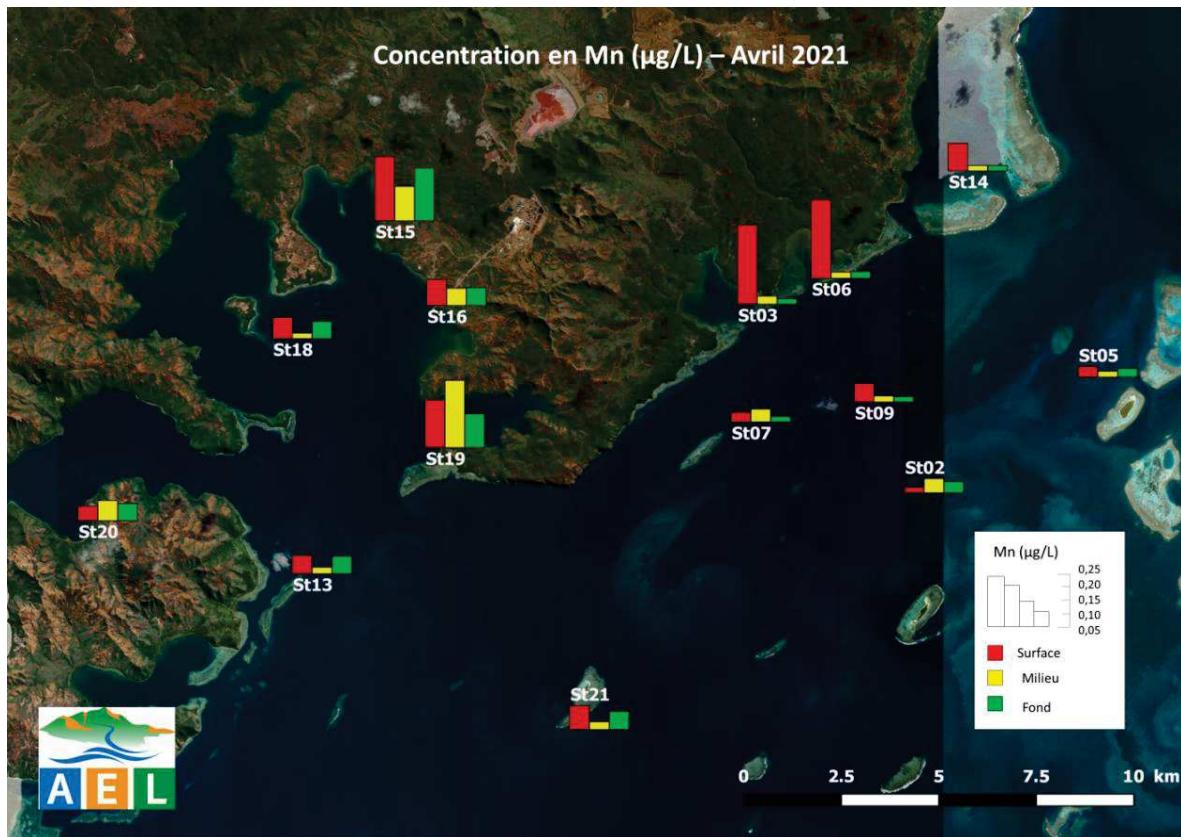


Figure 26: Distribution des concentrations en manganèse (Mn) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie (avril 2021).

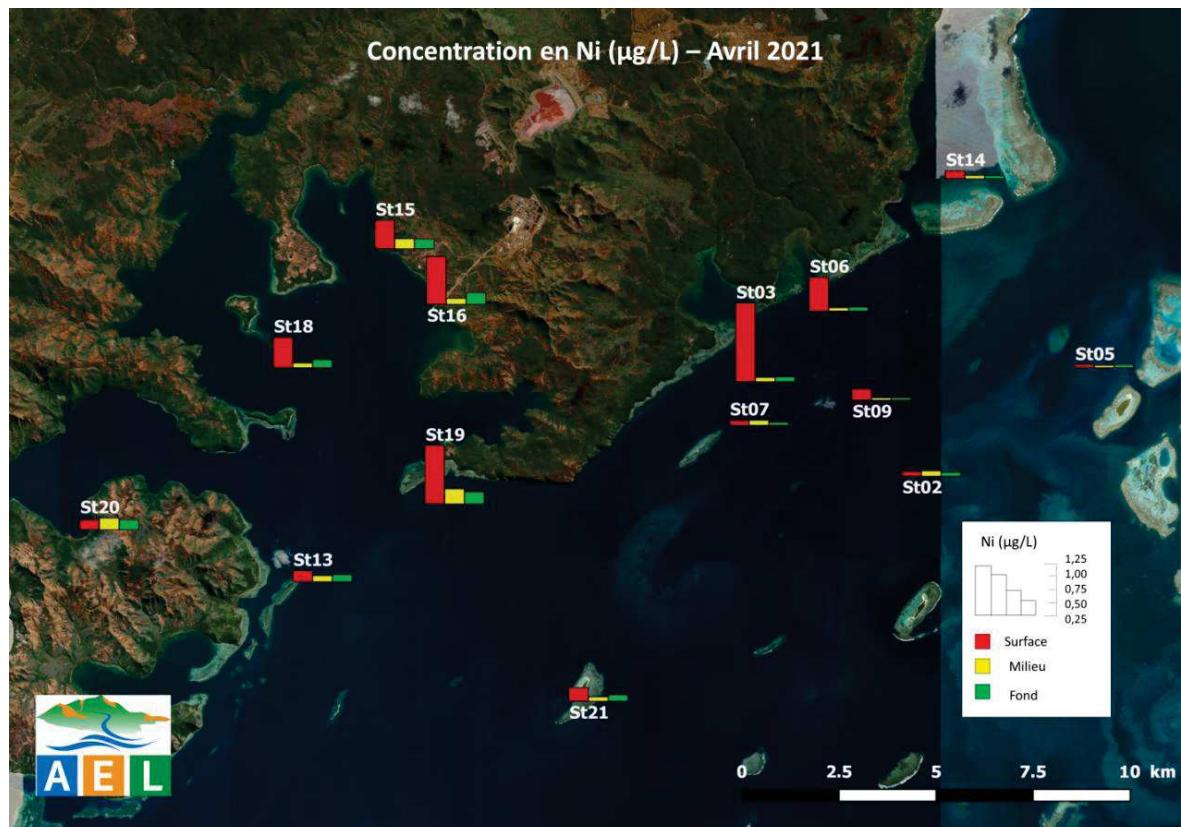


Figure 27: Distribution des concentrations en nickel (Ni) dissous dans la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie (avril 2021).

IV. SYNTHÈSE

Cette synthèse regroupe les suivis temporels des concentrations en sels nutritifs et en métaux dissous mesurées aux « stations sentinelles » depuis 2008, pour les campagnes de suivi « **saison chaude** ». Ces stations sentinelles, au nombre de cinq ont été choisies afin de pouvoir mener la comparaison dans le temps, entre les stations représentatives de l'influence anthropique et continentale (ST03 -Port Boisé-, ST06 -Baie Kwé- et ST15 -Creek de la Rade Nord-) et celles représentatives majoritairement de l'influence océanique (ST05 -ilot Kié- et ST09 -Canal de la Havannah-).

A. MÉTÉOROLOGIE

Les conditions climatiques, notamment les précipitations, ont une influence sur la physico-chimie des eaux et notamment sur la concentration en métaux dissous. Les cumuls des précipitations, avant (5 jours précédents) et pendant les campagnes, ont été reportés dans la figure 25.

La campagne 2021 se caractérise par de fortes précipitations atmosphériques dans les 5 jours précédant la campagne (234mm), mais par l'absence totale de pluie durant la campagne. Ces fortes précipitations antérieures sont des vecteurs potentiels d'apports terrigènes au débouché des rivières, et suggèrent la mise en place probable d'une influence observable du milieu continental sur le milieu marin.

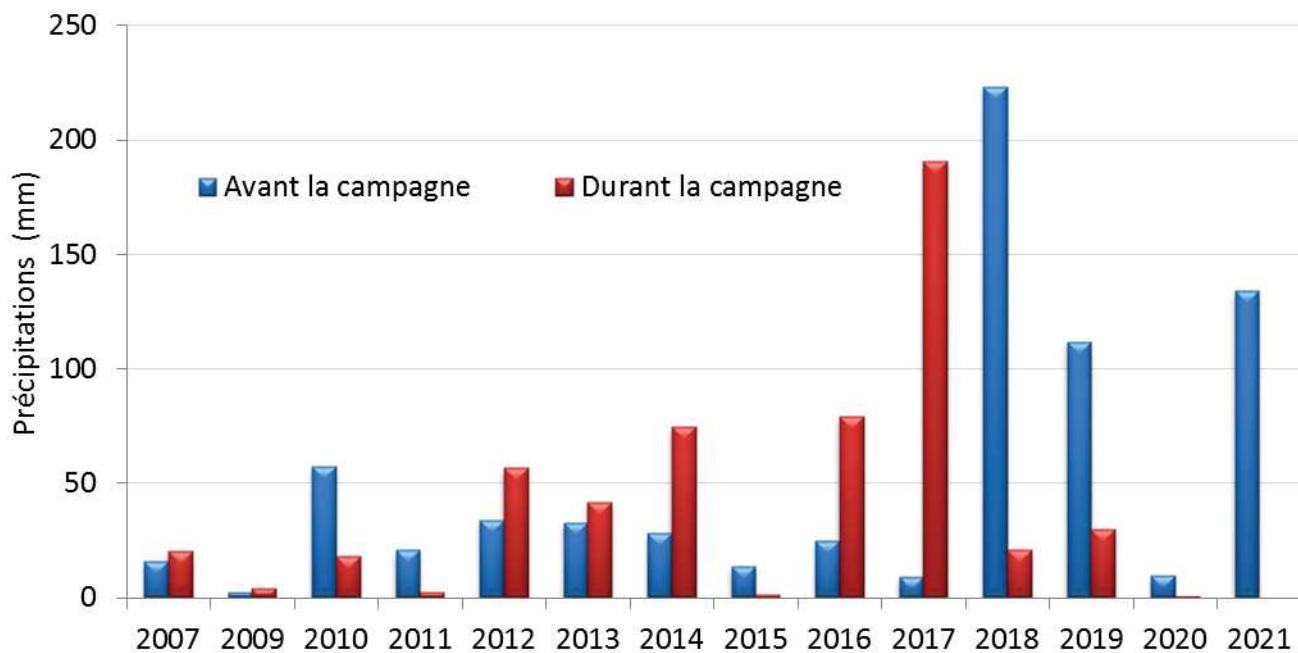


Figure 28: Cumuls des précipitations, 5 jours avant (bleu) et pendant (rouge) les campagnes de prélèvement « saison chaude » de 2007 à 2021 ; données météorologiques enregistrées à la station d'observation « Goro usine » et/ou « ancienne Pépinière ».

B. SELS NUTRITIFS

Le suivi temporel des concentrations en ammonium (NH_4) et en nitrates et nitrites (NO_3+NO_2) entre les différentes campagnes « saison chaude » réalisées depuis 2008, a été reporté dans les Figures 26 à 29. Leur évolution a été étudiée aux stations sentinelles **ST05, ST09, ST06 et ST15**.

1. Ammonium

a) Stations du Canal - Influence océanique

Globalement, pour ces deux stations d'influence océanique, les valeurs sont relativement homogènes dans la colonne d'eau.

Pour ST05, exception faite de 2010 et 2020, les concentrations en ammonium sont relativement constantes et restent inférieures à 0,20 $\mu\text{mol/L}$. En effet, seules à deux reprises ces valeurs ont été dépassées pour atteindre à mi-profondeur presque 0,60 $\mu\text{mol/L}$ (Figure 29).

Pour ST09, les concentrations de l'ordre de 0,10 $\mu\text{mol/L}$ augmentent très progressivement entre 2012 et 2019 jusqu'à 0,20 $\mu\text{mol/L}$ environ, puis demeurent constantes jusqu'en 2021, seulement à mi-profondeur.

b) Stations des baies - Influence anthropique et continentale

Les trois stations pilotes d'influence terrigène de Port Boisé (ST03), Baie Kwé (ST06) et Rade du Nord (ST15) présentent des concentrations moyennes assez proches des stations d'influence océanique (Figure 30). Comme pour les stations ST05 et ST09, les concentrations moyennes avant 2016 sont globalement inférieures à 0,20 $\mu\text{mol/L}$, puis elles enregistrent également des augmentations relativement importantes, notamment en ST03 et ST06 à partir de 2015 et 2017, respectivement. En rade du Nord (ST15), les valeurs restent comprises entre 0,10 $\mu\text{mol/L}$ et 0,40 $\mu\text{mol/L}$ entre le démarrage du suivi et 2021. La valeur maximale est mesurée en surface en 2017 (0,47 $\mu\text{mol/L}$).

Les stations d'influence terrigène se distinguent en effet par des valeurs ponctuelles beaucoup plus hautes que les stations océaniques, elles peuvent atteindre des concentrations supérieures à 0,50 $\mu\text{mol/L}$ voire plus de 1,00 $\mu\text{mol/L}$, comme en 2017 pour ST06 dans les eaux de surface.

En 2021, les trois stations d'influence terrigène montrent une nouvelle diminution des concentrations en NH_4^+ , avec des valeurs d'ordre de grandeurs similaires à celles antérieures à 2015.

2. Nitrates et nitrites

a) Stations du Canal - Influence océanique

Depuis 2008, les concentrations en nitrates et nitrites sont relativement faibles et constantes (0,20-0,40 $\mu\text{mol/L}$) pour les stations d'influences océaniques (Figure 31). Sporadiquement des augmentations peuvent être observées sur la période de suivi entre 2007 et 2021, comme en 2009, 2011 et 2021 où cette année dans les eaux de fond en particulier, la valeur de 1,00 $\mu\text{mol/L}$ a été dépassée à la station ST05 et les 2,00 $\mu\text{mol/L}$ ont été frôlés en ST09.

b) Stations des baies - Influence anthropique et continentale

Parmi les 3 stations, seules les concentrations en NO_x de ST03 demeurent inférieures à 0,50 $\mu\text{mol/L}$ depuis 2007 en dépassant exceptionnellement cette valeur en 2018 et surtout 2021 où elles ont atteint 1,50 $\mu\text{mol/L}$ dans les eaux de fond (Figure 32). La station ST06 est quant à elle caractérisée par des valeurs inférieures à 1,00 $\mu\text{mol/L}$ qui sont dépassées ponctuellement à partir de 2013 pour atteindre près de 3,00 $\mu\text{mol/L}$ dans les eaux de surface en 2018. En 2021, les concentrations marquent un nouveau pas avec le niveau le plus haut affectant toute la colonne d'eau ; entre 1,80 et 2,60 $\mu\text{mol/L}$. La station ST15 enregistre des concentrations globalement inférieures à 0,5 $\mu\text{mol/L}$, cependant, elle montre régulièrement des valeurs supérieures à 1,00 $\mu\text{mol/L}$ et pouvant atteindre 2,30 $\mu\text{mol/L}$ (2021). Les valeurs particulièrement hautes de cette campagne de saison chaude 2021 s'expliquent par de fortes précipitations le 19/04.

3. Comparaison Influence continentale / Influence océanique

Sur l'ensemble des 10 années de suivi, les valeurs moyennes en NH_4^+ sont légèrement plus élevées pour la station ST05 ($0,118 \pm 0,098 \mu\text{mol/L}$) que pour ST09 ($0,093 \pm 0,061 \mu\text{mol/L}$, Tableau 10) ; Les écart-types restent assez élevés pour ces deux stations d'influence océanique, indiquant que même le « bruit de fond » naturel de l'ammonium dans le milieu marin fluctue d'une année et sur l'autre et dans la colonne d'eau.

Ces valeurs moyennes de NH_4^+ sont presque deux fois supérieures aux moyennes obtenues aux stations d'influence terrigène (Tableau 10). Les valeurs sont également très similaires d'une station à l'autre, bien que la moyenne obtenue en ST06, toutes années et toutes profondeurs confondues, soit un peu plus élevée qu'en ST03 et ST15. En terme de gradient de concentrations, aucune organisation établie n'est mise en évidence pour les 3 stations, seulement en ST06, les concentrations en surface sont significativement plus élevées que dans le reste de la colonne d'eau. Pour les trois stations, l'augmentation en profondeur observable est liée sans doute à la formation d'une couche néphéloïde où prennent places divers processus de dégradation de la matière, propres à produire du NH_4^+ .

En ce qui concerne les concentrations moyennes en NO_x aux stations océaniques ST05 et ST09, les valeurs sont de moitié inférieures à celles des stations d'influence terrigène (ST03, ST06, ST15), avec cependant des valeurs plus hautes et de même ordre de grandeur dans les couches de fond, pour les 5 stations sentinelles. On peut en déduire que ces concentrations naturelles en NO_x reflètent les niveaux naturels dans les couches profondes.

Par ailleurs, la station ST06 se distingue des deux autres stations « terrigènes » par une concentration de surface en NO_x très forte ($0,918 \mu\text{mol/L}$, Tableau 10) ; par ailleurs, elle est la seule à présenter de fait un gradient vertical de concentrations inversé par rapport aux 4 autres stations. Cette observation suggère la mise en place de phénomènes de drainage importants du bassin versant de la Kwé entraînant des accumulations en matières organiques dissoutes/particulaires importantes dans les eaux de la baie. Ces apports organiques, dont la dégradation se produit en mer, sont à mettre en lien avec les précipitations atmosphériques.

Tableau 10 : Moyennes 2007-2021, des concentrations en NO_x et NH₄⁺ aux stations sentinelles, en surface, mi-profondeur et fond, ainsi que toutes profondeurs confondues, et moyennes globales des concentrations dans les aires d'influences terrigène ou océanique.

Stations	Statistique	Sels Nutritifs (μmol/L)			
		NOx	NH ₄	NOx	NH ₄
Influence terrigène et anthropique (ST03, ST06 et ST15)	Moyenne Totale	0,253	0,153	Moyennes Influences terrigène et anthropique, toutes profondeurs confondues	
	Moyenne surface	0,132	0,146		
	Moyenne Mi-profondeur	0,276	0,113		
	Moyenne Fond	0,353	0,200		
Influence océanique (ST05 et ST09)	Moyenne Totale	0,567	0,176	Moyennes Influence océanique, toutes profondeurs confondues	
	Moyenne surface	0,918	0,249		
	Moyenne Mi-profondeur	0,359	0,127		
	Moyenne Fond	0,426	0,153		
ST03	Moyenne Totale	0,440	0,111	0,420	0,146
	Moyenne surface	0,370	0,110		
	Moyenne Mi-profondeur	0,445	0,079		
	Moyenne Fond	0,507	0,144		
ST05	Moyenne totale	0,285	0,118	Moyennes Influence océanique, toutes profondeurs confondues	
	Moyenne surface	0,205	0,094		
	Moyenne Mi-profondeur	0,286	0,135		
	Moyenne Fond	0,364	0,126		
ST09	Moyenne Totale	0,253	0,093	0,253	0,105
	Moyenne surface	0,167	0,070		
	Moyenne Mi-profondeur	0,192	0,092		
	Moyenne Fond	0,401	0,115		

C. MÉTAUX DISSOUS

L'évolution des concentrations de Co²⁺, Cr⁶⁺, Mn²⁺ et Ni²⁺ entre les différentes campagnes « saison fraîche » réalisées depuis 2008 aux stations sentinelles a été illustrée sur les figures 30 à 37.

1. Cobalt

Depuis 2008, pour les deux stations pilotes représentatives de l'influence océanique (ST05 et ST09 ; Figure 33), la quasi-intégralité (1 seule exception par station) des concentrations en cobalt sont inférieures à la limite de quantification de la technique (0,027 μg/L).

Pour les stations représentatives de l'influence terrigène et anthropique (ST03, ST06 et ST15 ; Figure 34), les valeurs sont nettement plus élevées, notamment en surface où elles peuvent atteindre, voire dépasser les 0,25 μg/L à la station ST15. La répartition des concentrations en cobalt est très hétérogène sur la verticale, et l'occurrence des fortes concentrations est très sporadique. Aucune tendance à l'augmentation ou à la diminution ne se distingue clairement temporellement.

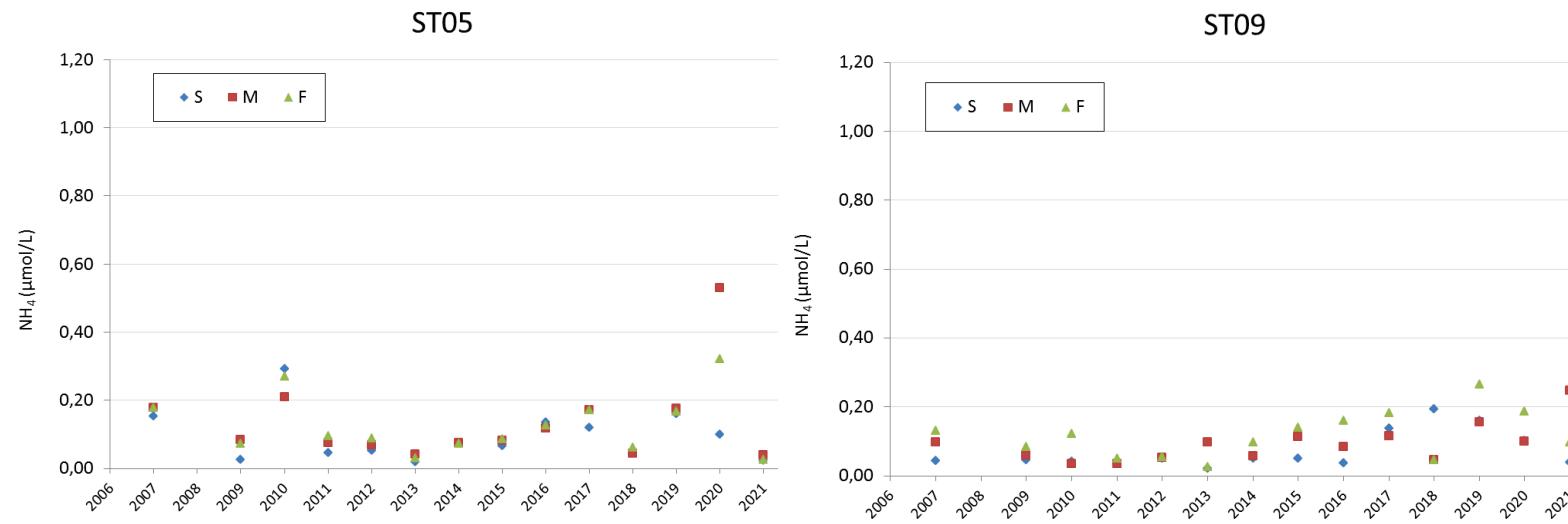


Figure 29: Concentrations en NH_4^+ aux stations du Canal (ST05 et ST09), en « saison fraîche » (2007 à 2021).

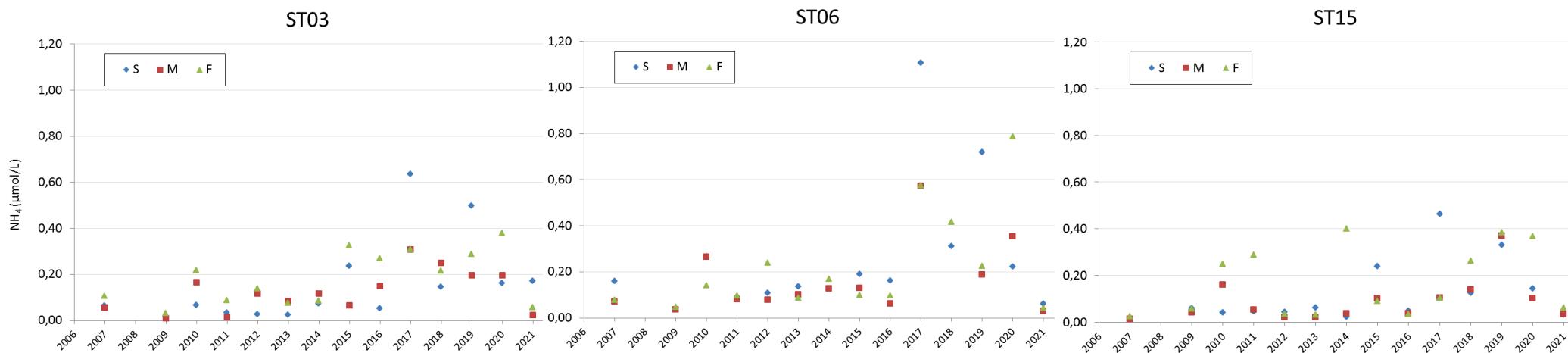


Figure 30: Concentrations en NH_4^+ aux stations des baies (ST03, ST06 et ST15) en « saison chaude » (2007 à 2021).

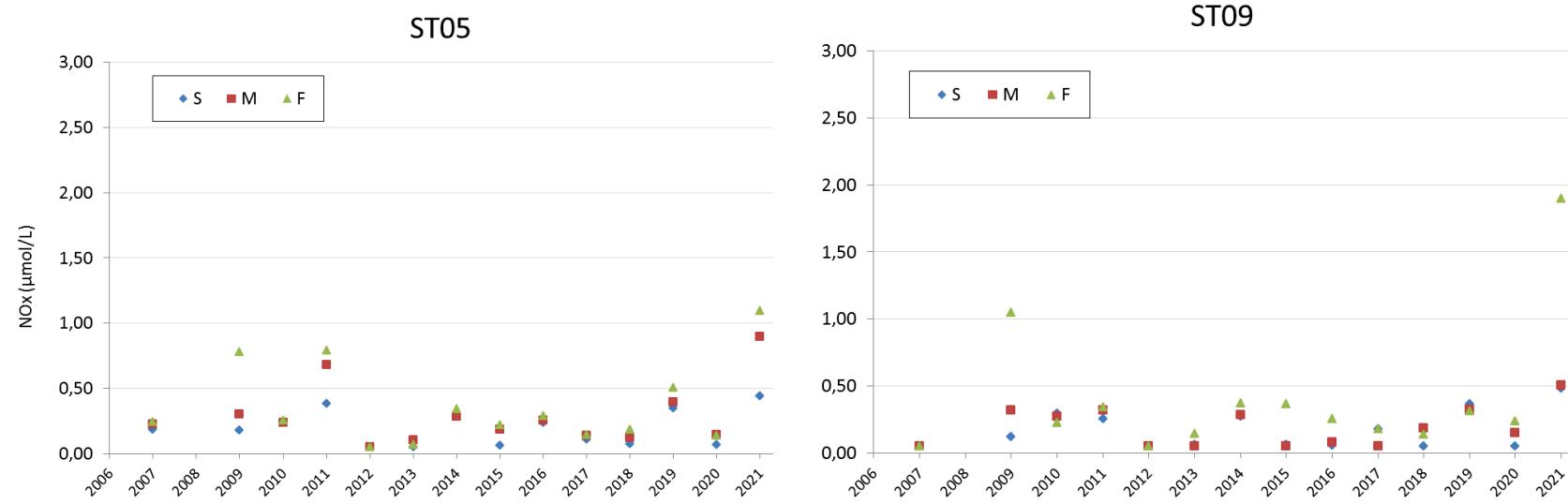


Figure 31: Concentrations en NOx aux stations du Canal (ST05 et ST09), en « saison chaude » (2007 à 2021)

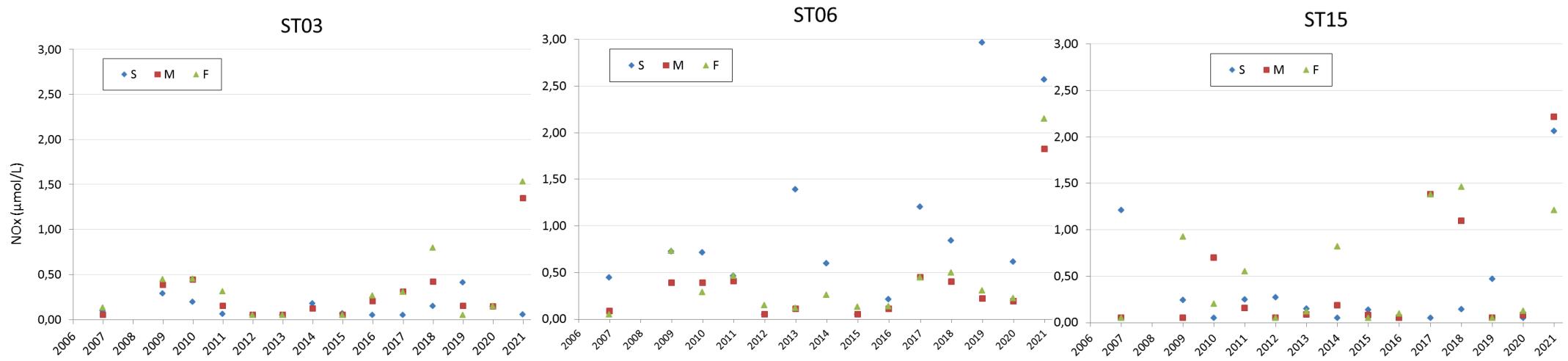


Figure 32: Concentrations en NOx aux stations des baies (ST03, ST06 et ST15) en « saison chaude » (2007 à 2021)

2. Chrome hexavalent

L'évolution temporelle des concentrations en chrome hexavalent des stations du Canal (ST05 et ST09 ; Figure 35) semble présenter une cyclicité d'environ 4 années, observable aussi bien en saison chaude qu'en saison froide. Sur ces périodes, les concentrations en Cr⁶⁺ oscillent très légèrement entre des valeurs inférieures ou égales à 0,10 µg/L et des maximums de 0,18 µg/L ; cette variabilité ne semble pas directement reliée aux taux de précipitations. Les deux stations sont caractérisées par une grande homogénéité des concentrations en Cr⁶⁺ sur la colonne d'eau.

Le bruit de fond géochimique aux stations d'influence terrigène (ST03, ST06 et ST15 ; Figure 36) est légèrement plus élevé qu'aux stations du large (0,10 à 0,20 µg/L, globalement en ST05 et ST09). De même que pour le cobalt, c'est la station ST15 qui possède la concentration moyenne la plus forte des trois. Les deux autres stations (ST03 et ST06) présentent pour quelques campagnes (2014, 2017, 2018, 2019 et 2021) des valeurs exceptionnellement fortes et dont la fréquence augmente au cours des dernières années ; les concentrations peuvent dépasser les 2 µg/L voire les 4 µg/L (4,2 µg/L en ST06). Ces fortes valeurs ne sont atteintes que dans la couche de surface (présence d'un gradient de concentration), reflétant un faible mélange des eaux au niveau des points d'échantillonnage. En ST15, les valeurs extrêmes sont moins élevées mais les concentrations moyennes de mi-profondeur et de fond sont plus fortes que pour les deux autres stations.

3. Manganèse

Les stations d'influence océanique présentent une certaine variabilité entre la Limite de Quantification de la méthode (0,028 µg/L) et 0,200 µg/L (Figure 37) ; les concentrations dépassent très ponctuellement cette valeur en ST09, en 2007 et en 2015 à mi-profondeur.

La variation temporelle des concentrations en Mn aux stations d'influence terrigène (Figure 38) est beaucoup plus ample ; les stations ST06 et ST15 montrent des concentrations s'étalant entre la LQ et 1 µg/L, avec une forte hétérogénéité verticale.

La station ST03 présente également une certaine hétérogénéité des valeurs mais celles-ci demeurent plus faibles (maximum de 0,5 µg/L).

Aucun gradient vertical vraiment établi ne peut clairement être observé, toutefois, les eaux de surface présentent très souvent les concentrations les plus fortes.

Les niveaux de concentrations élevés enregistrés pour ces deux stations ne sont pas corrélés entre eux, et donc, sans lien direct avec les conditions météorologiques.

4. Nickel

Les stations du large (Figure 39) sont caractérisées par des concentrations comprises entre 0,04 et 0,27 µg/L et présentent des variabilités temporelles relatives ; les années 2009, 2015 et 2020 affichent les concentrations les plus hautes. En 2021, les concentrations sont faibles dans toute la colonne d'eau de la station ST05, alors qu'une valeur maximale est mesurée en ST09 pour les eaux de surface. Cette observation tendrait à démontrer que cette station, considérée d'influence océanique, peut ponctuellement être marquée par des apports terrigènes dans les eaux de surface, voire de mi-profondeur.

Dans les baies (Figure 40), les concentrations en Ni sont mesurées globalement entre 0,05 et 0,25 µg/L pour les échantillons de mi-profondeur et de fond, et entre 0,25 et 0,50 µg/L pour les échantillons de surface. On observe donc une forte distribution verticale avec des valeurs de surface moyennes systématiquement plus élevées pouvant atteindre 2,7 µg/L pour ST06 (2019). Aucune tendance à l'augmentation ou à la diminution dans le temps ne peut être dessinée.

5. Comparaison Influence continentale / Influence océanique

Quels que soient les métaux dissous considérés, il apparaît que les fortes valeurs de concentrations correspondent à des eaux de surface des stations représentant l'influence terrigène (Tableau 11). On constate en revanche, pour un même métal, des concentrations de même ordre de grandeur pour toutes eaux de mi-profondeur et au fond. Toutefois, pour les eaux de fond, les concentrations peuvent ré-augmenter, c'est notamment le cas pour l'élément Mn aux stations ST06 et ST15.

Entre elles, les stations d'influence terrigène présentent aussi des différences ; ST15 possède des concentrations moyennes, toutes campagnes et toutes profondeurs confondues, supérieures aux deux autres stations pour Co, Mn et Ni. On peut noter que les différences se font surtout sur les valeurs de profondeur. La station ST06 enregistre, quant à elle, la concentration moyenne maximale en Cr⁶⁺. Une modulation des impacts terrigènes est constatée en fonction des stations.

Pour les stations d'influence océanique, les variations de concentrations dans la colonne d'eau sont tenues ; les concentrations mesurées sont représentatives du bruit de fond géochimique et, par leur localisation, les stations sont peu sujettes aux influences terrigènes.

Globalement, l'influence terrigène des apports fluviaux sur les concentrations en métaux dissous dans le milieu marin est démontrée par les valeurs plus élevées aux stations côtières : pour le Co et le Cr⁶⁺, les concentrations sont 2 fois plus élevées que pour les stations du large. Pour le Mn et Ni, les concentrations sont 4 et 3 fois plus élevées, respectivement (Tableau 11).

Tableau 11 : Moyennes, entre 2007 et 2021, des concentrations en Métaux dissous des stations pilotes, en surface, mi-profondeur et fond, ainsi que toutes profondeurs confondues.

	Stations	Moyenne								
			Co	CrVI	Mn	Ni	Co	CrVI	Mn	Ni
Influence terrigène et anthropique (ST03, ST06 et ST15)	ST03	Totale	0,050	0,257	0,193	0,348				
		Surface	0,083	0,492	0,243	0,673				
		Mi-profondeur	0,031	0,146	0,167	0,192				
	ST06	Fond	0,037	0,133	0,168	0,180				
		Totale	0,044	0,334	0,342	0,363				
		Surface	0,067	0,718	0,614	0,743				
	ST15	Mi-profondeur	0,031	0,150	0,174	0,165				
		Fond	0,035	0,133	0,239	0,182				
		Totale	0,074	0,273	0,455	0,416				
	ST05	Surface	0,107	0,452	0,593	0,650				
		Mi-profondeur	0,049	0,190	0,316	0,288				
		Fond	0,067	0,177	0,457	0,312				
Influence océanique (ST05 et ST09)	ST05	Totale	0,027	0,124	0,074	0,094				
		Surface	0,027	0,128	0,074	0,096				
		Mi-profondeur	0,028	0,123	0,067	0,087				
	ST09	Fond	0,027	0,121	0,082	0,101				
		Totale	0,027	0,120	0,097	0,117				
		Surface	0,027	0,123	0,104	0,130				
		Mi-profondeur	0,027	0,121	0,099	0,120				
		Fond	0,027	0,116	0,087	0,103				

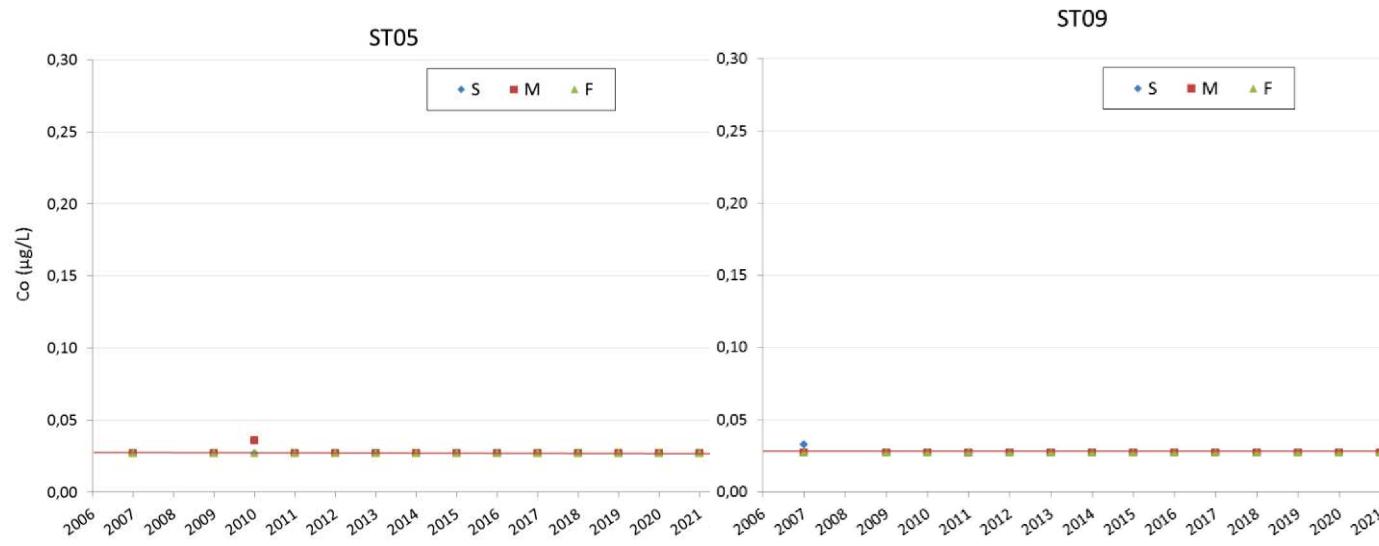


Figure 33: Concentrations en Co dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison chaude (2007 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

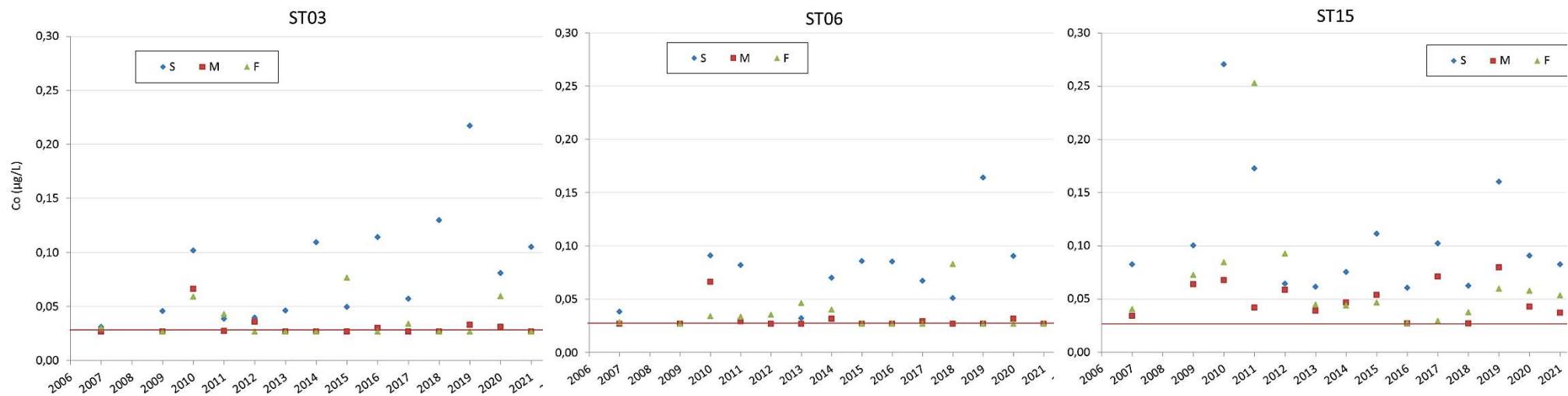


Figure 34: Concentrations en Co dans les stations des baies (ST03, ST06 et ST15), en saison chaude (2007 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,027 µg/L).

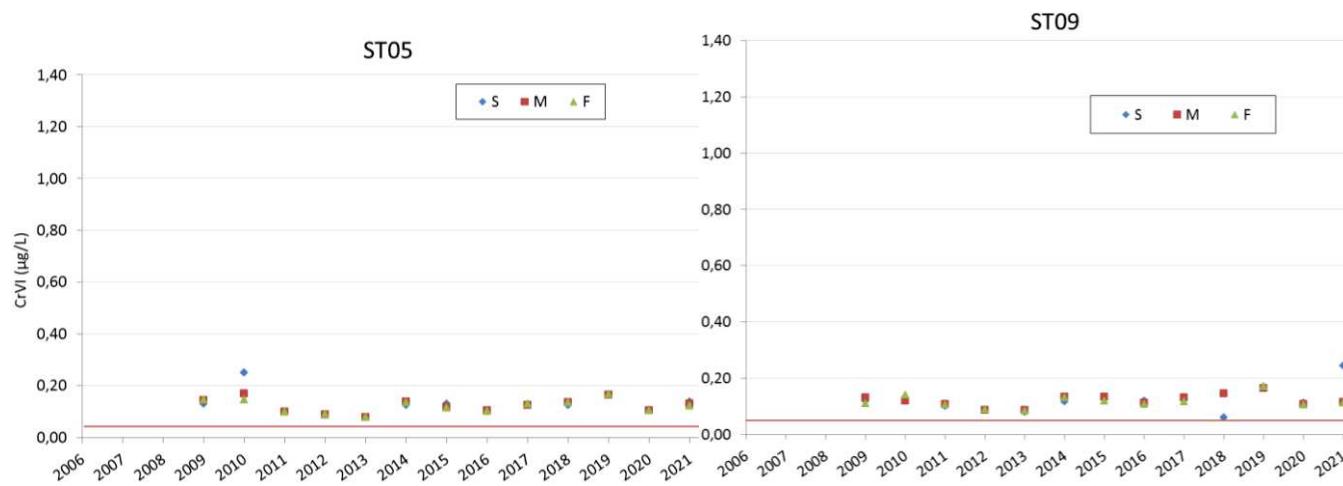


Figure 35: Concentrations en Cr⁶⁺ dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison chaude (2007 à 2021); la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

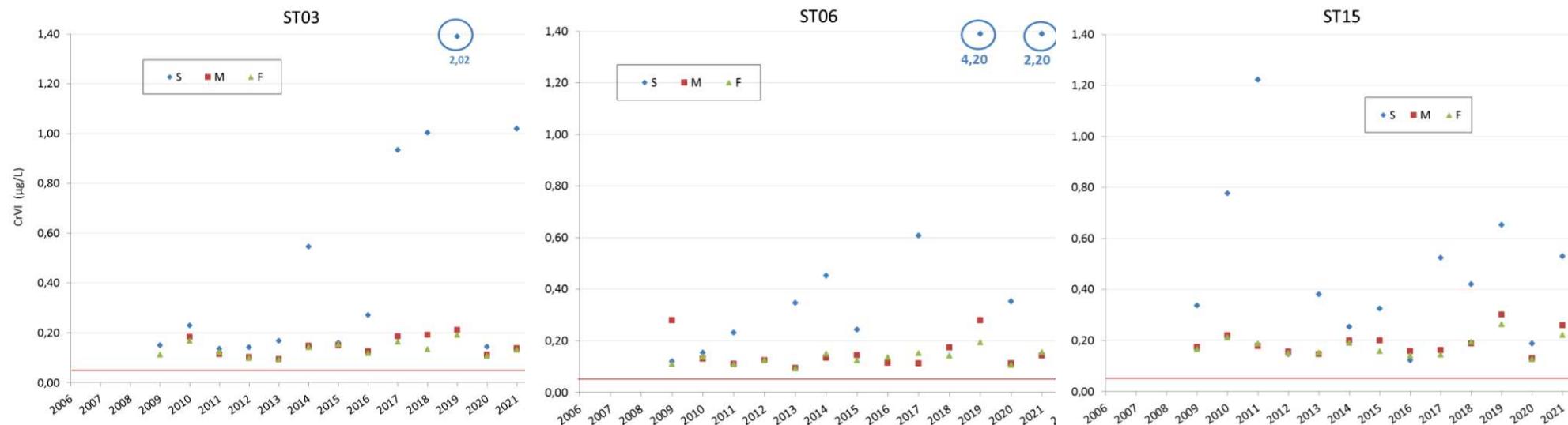


Figure 36: Concentrations en Cr⁶⁺ dans les stations du Canal (ST03, ST06 et ST15), en saison chaude (2007 à 2021) ; la ligne rouge représente la limite de quantification (0,050 µg/L).

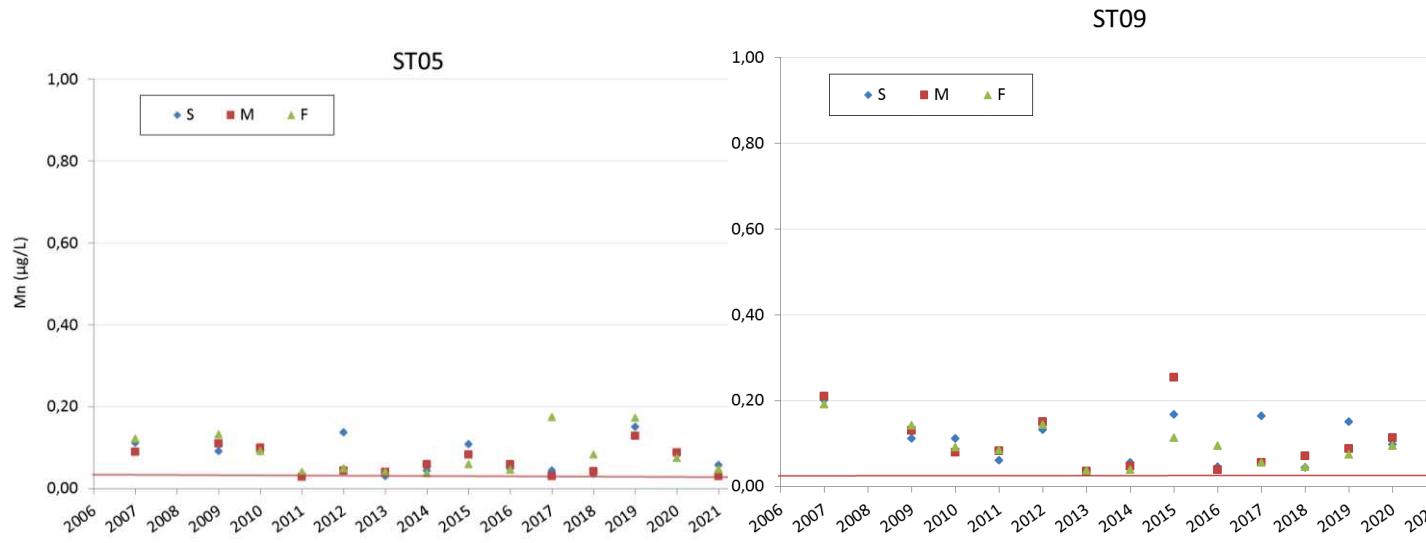


Figure 37: Concentrations en Mn dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison chaude (2007 à 2021); la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

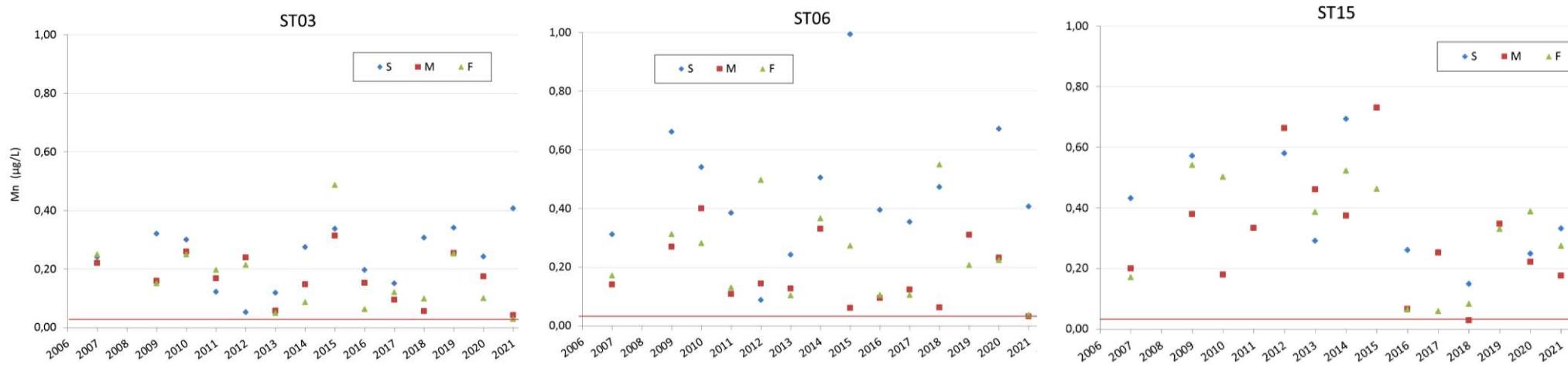


Figure 38: Concentrations en Mn dans les stations du Canal (ST03, ST06 et ST15), en saison chaude (2007 à 2021); la ligne rouge représente la limite de quantification (0,028 µg/L).

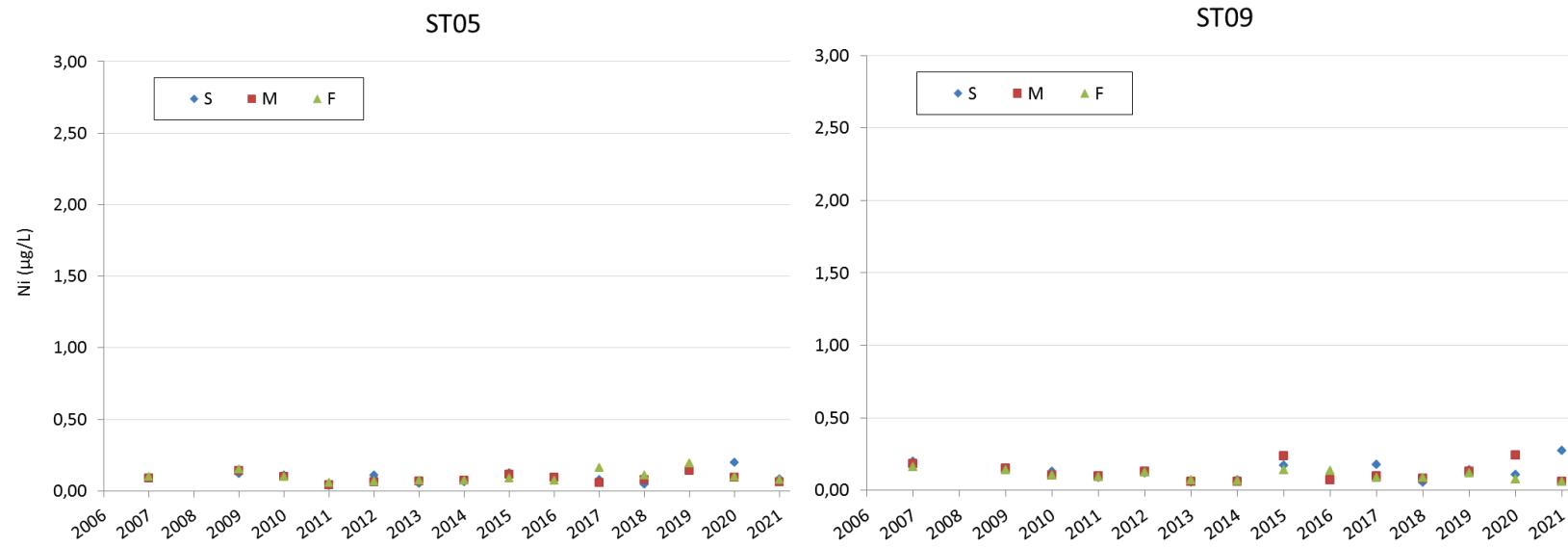


Figure 39 : Concentrations en Ni dans les stations du Canal (ST05 et ST09), en saison chaude (2007 à 2021).

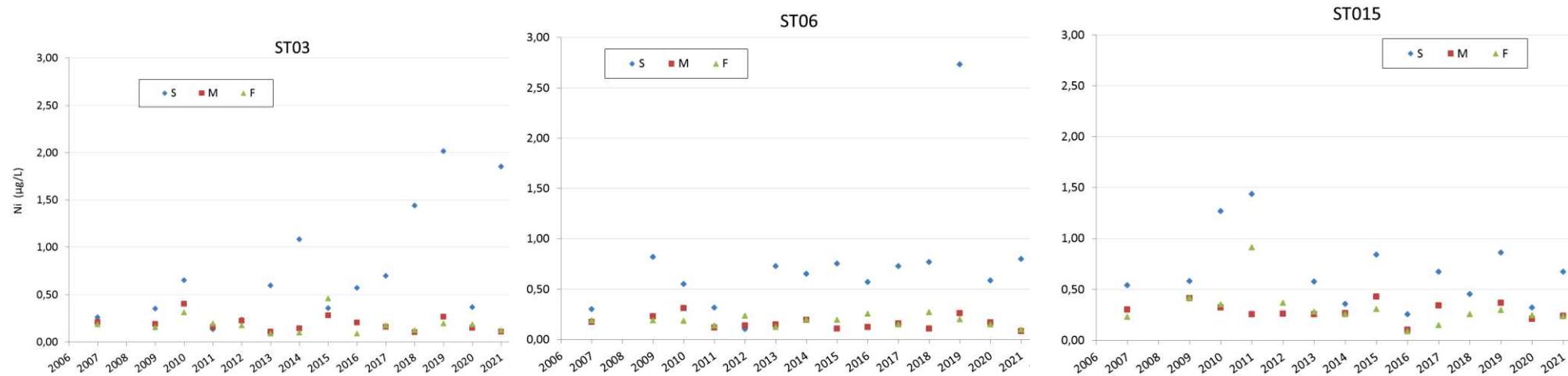


Figure 40: Concentrations en Ni dans les stations du Canal (ST03, ST06 et ST15), en saison chaude (2007 à 2021)

V. CONCLUSION

Cette campagne semestrielle « saison chaude » 2021 s'est distinguée par de fortes précipitations enregistrées avant la campagne, mais nulles durant la campagne. De fait, les profils des variables physico-chimiques mettent en évidence une influence certaine des apports d'eau douce provenant des creeks et rivière sur la zone d'étude. Ces influences sont surtout décelables au niveau des baies (faibles valeurs de salinité, turbidité plus importante en profondeur).

Dans la plupart des cas, les profils physico-chimiques obtenus permettent de confirmer que les stations situées dans le Canal de la Havannah et au niveau de l'île Ouen sont principalement influencées par les apports océaniques qui renouvellent les masses d'eaux et apportent des nutriments via les phénomènes de marées. Inversement, les stations des baies sont clairement sous influence des apports terrigènes lorsque les conditions météorologiques y sont propices, ayant souvent comme conséquence une stratification de la colonne d'eau.

Les concentrations en éléments majeurs, stables dans l'eau de mer, ainsi que le pH, restent semblables aux campagnes précédemment effectuées et sont homogènes entre les différentes zones étudiées.

En revanche, les concentrations en sels nutritifs obtenues sur l'ensemble de la zone montrent des répartitions bien distinctes. Les nitrates et nitrites suivent une tendance à l'accumulation aux stations d'influence terrigène ; pour l'ammonium, cette tendance est moins marquée. De manière surprenante, l'un comme l'autre de ces éléments sont en concentrations proches des maxima à la station océanique ST02, au large du canal de la Havannah dans sa bordure sud-est, tandis que les concentrations en silicates, considérés comme un traceur terrigène, y sont minimales. Ces deux distributions inverses montrent que les sels nutritifs correspondent à des apports océaniques via le récif barrière, et que les influences terrigènes ne parviennent pas jusque à cette station.

En effet, les concentrations en matières organiques ne permettent pas de mettre en évidence une claire influence terrigène ; aucun gradient « côte-large » structuré n'est observable pour cette campagne semestrielle. Toutefois dans la zone d'étude, la distribution spatiale contraste entre sa partie orientale et occidentale, avec des concentrations en matières organiques plus élevées à l'Est. Cette zonation cartographique peut être le reflet de l'hydrodynamique, l'Ouest ayant été échantillonné à marée montante, cette phase pouvant pousser des eaux marquées par les pluies antérieures, alors que les eaux plus claires de l'Est de la zone ont été prélevées en fin de marée descendante.

Cette hypothèse semble confortée par la distribution spatiale des concentrations en métaux dissous, exception faite de As qui est un élément ubiquiste. En effet, bien que dans une moindre mesure, les métaux se distribuent, non seulement selon un double gradient « côte-large » et « surface-fond » traduisant l'influence des apports terrigènes comme conséquence des pluies, mais également avec des niveaux de concentrations plus faibles à l'Est de la zone. Cette différence de concentrations entre les zones est observable quasiment sur toute la colonne d'eau échantillonnée.

En ce qui concerne la tendance temporelle des concentrations en métaux dissous, aucune évolution n'est observable pour aucune des stations sentinelles, ni pour les deux du large correspondant aux influences purement océaniques, ni pour les 3 côtières destinées au suivi des impacts terrigènes.

REFERENCES

- Aminot A, Kérouel R (2004). Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et Analyses. Ed. Ifremer, 336 p.
- Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances (1981). Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, 53p.
- Fanning GO, Pilson MEQ (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Analytical Chemistry*, 45: 136-140.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Belhandouz A, Fichez R (2006). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention n° 9135 A0.
- Fernandez JM, Moreton B, Gérard P, Dolbecq M, Belhandouz A (2007). Etat de référence : Qualité physico-chimiques des eaux du Canal de la Havannah et de la Baie du Prony (Saison humide). Convention n° 1312.
- Fichez R, Adjeroud M, Bozec YM, Breau L, Chancerelle Y, Chevillon C, Douillet P, Fernandez JM, Frouin P, Kulbicki M, Moreton B, Ouillon S, Payri C, Perez T, Sasal P, Thébault J (2005). A review of selected indicators of particle, nutrient and metals inputs in coral reef lagoon systems. *Aquatic Living Resources*, 18: 125-147.
- Holmes RM, Aminot A, Kérouel R, Bethanie A, Hooher A, Peterson BJ (1999).. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 56: 1801-1808.
- Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2010). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2011). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Rousard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2012). Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (mars 2012). Convention n°C2445.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Goyaud A, Moreton B, Kumar-Roiné S, Fernandez JM (2013). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2013). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 80p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Raynal A, Moreton B, Fernandez JM (2014). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie (1^{er} semestre 2014). Contrat AEL/Vale-NC n°1368. 66p.
- Le Grand H, Kaplan H, Haddad L, Achard R, Laurent A, Fernandez JM (2015). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2015. Contrat AEL/Vale-NC n° T1368, 85p.
- Lorenzen CJ (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research*, 13: 223-227.
- Kaplan H, Laurent A, Drouzy M, Moreton, Fernandez JM (2016). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n° E98084, 93p.
- Kaplan H, Laurent A, Moreton, Fernandez JM (2017). Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : 1^{er} semestre 2017. Contrat AEL/Vale-NC n° E98084, 83p.
- Moreton B, Fernandez JM, Dolbecq M (2009). Development of a field preconcentration/elution unit for routine determination of dissolved metal concentrations by ICP-OES in marine waters: Application for monitoring of the New Caledonia lagoon. *Geostandards and Geoanalytical Research* 33 (2): 205-218.
- Mullin JB, Riley JP (1955). The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 12: 162-176.

Murphy J, Riley JP (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.

NF EN ISO 17294-2 : Qualité de l'eau - Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) - Partie 2 : dosage de 62 éléments.

Oudot C, Montel Y (1988). A high sensitivity method for the determination of nanomolar concentrations of nitrate and nitrite in seawater with a Technicon Autoanalyzer II. *Marine Chemistry*, 24: 239-252.

Raimbault P, Coste B, Fry J (1990) Feasibility of measuring an automated colorimetric procedure for the determination of seawater nitrate in the 0 to 100nM range: examples from field and culture. *Mar. Biol* 104: 347-351.

Strickland JDH, Parsons TR (1972). A practical handbook of sea water analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 167: 207-211.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRÉLÈVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE.....	7
FIGURE 2: CUMUL DES PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES PENDANT LES 5 JOURS PRÉCÉDANT LA CAMPAGNE (15 AU 19/04/2021) ET PENDANT LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE (20 AU 22/04/21). DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES MÉTÉO FRANCE STATION "ANCIENNE PÉPINIÈRE"	9
FIGURE 3 : INTENSITÉ ET DIRECTION DU VENT SOUFFLANT AVANT ET DURANT LA CAMPAGNE (DONNÉES MÉTÉO FRANCE, STATION ANCIENNE PÉPINIÈRE DE GORO)	10
FIGURE 4: CHRONOLOGIE DES ÉVÈNEMENTS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AVRIL 2021 REPORTÉE SUR LES MARÉGRAMMES DU 20 ET 22 AVRIL 2021.....	10
FIGURE 5: PROFILS DE TEMPÉRATURE DES 14 STATIONS ÉCHANTILLONNÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	12
FIGURE 6: PROFILS DE SALINITÉ DES 14 STATIONS ÉCHANTILLONNÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	13
FIGURE 7: PROFILS DE FLUORESCENCE DES 14 STATIONS ÉCHANTILLONNÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	14
FIGURE 8: PROFILS DE TURBIDITÉ DES 14 STATIONS ÉCHANTILLONNÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	15
FIGURE 9: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS DE MATIÈRES EN SUSPENSION (MES) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	18
FIGURE 10: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN NITRATES ET NITRITES ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) EN $\mu\text{MOL/L}$ DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021)	19
FIGURE 11: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH_4) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	20
FIGURE 12 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHATES (PO_4^{3-}) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	21
FIGURE 13 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN SILICATES (SiO_4) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	22
FIGURE 14 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	24
FIGURE 15 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD) DANS LE LAGON SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	24
FIGURE 16: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ORGANIQUE PARTICULAIRE (NOP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	25
FIGURE 17 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRE (POP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	26
FIGURE 18 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	27
FIGURE 19: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE A DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE LORS DE LA CAMPAGNE SEMESTRIELLE D'AVRIL 2021.....	29
FIGURE 20: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN ARSENIC (As) EN $\mu\text{G/L}$ DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	32
FIGURE 21 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN COBALT (Co) EN $\mu\text{G/L}$ DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	32
FIGURE 22: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME (Cr^{6+}) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	33

FIGURE 23: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CHROME TOTAL (Cr _{TOT}) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	33
FIGURE 24: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CUIVRE (Cu) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	34
FIGURE 25: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN FER (Fe) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALÉDONIE (AVRIL 2021)	34
FIGURE 26: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN MANGANESE (Mn) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	35
FIGURE 27: DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN NICKEL (Ni) DISSOUS DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	35
FIGURE 28: CUMULS DES PRÉCIPITATIONS, 5 JOURS AVANT (BLEU) ET PENDANT (ROUGE) LES CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENT « SAISON CHAUDE » DE 2007 À 2021 ; DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ENREGISTRÉES À LA STATION D'OBSERVATION « GORO USINE » ET/OU « ANCIENNE PÉPINIÈRE ».	36
FIGURE 29: CONCENTRATIONS EN NH ₄ ⁺ AUX STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN « SAISON FRAÎCHE » (2007 À 2021)	40
FIGURE 30: CONCENTRATIONS EN NH ₄ ⁺ AUX STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15) EN « SAISON CHAUDE » (2007 À 2021).40	40
FIGURE 31: CONCENTRATIONS EN NO _x AUX STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN « SAISON CHAUDE » (2007 À 2021)	41
FIGURE 32: CONCENTRATIONS EN NO _x AUX STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15) EN « SAISON CHAUDE » (2007 À 2021) 41	41
FIGURE 33: CONCENTRATIONS EN Co DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON CHAUDE (2007 À 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITÉ DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).....	44
FIGURE 34: CONCENTRATIONS EN Co DANS LES STATIONS DES BAIES (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON CHAUDE (2007 À 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITÉ DE QUANTIFICATION (0,027 µG/L).....	44
FIGURE 35: CONCENTRATIONS EN Cr ⁶⁺ DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON CHAUDE (2007 À 2021); LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITÉ DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).....	45
FIGURE 36: CONCENTRATIONS EN Cr ⁶⁺ DANS LES STATIONS DU CANAL (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON CHAUDE (2007 À 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITÉ DE QUANTIFICATION (0,050 µG/L).....	45
FIGURE 37: CONCENTRATIONS EN Mn DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON CHAUDE (2007 À 2021) ; LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITÉ DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).....	46
FIGURE 38: CONCENTRATIONS EN Mn DANS LES STATIONS DU CANAL (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON CHAUDE (2007 À 2021); LA LIGNE ROUGE REPRÉSENTE LA LIMITÉ DE QUANTIFICATION (0,028 µG/L).....	46
FIGURE 39 : CONCENTRATIONS EN Ni DANS LES STATIONS DU CANAL (ST05 ET ST09), EN SAISON CHAUDE (2007 À 2021).....	47
FIGURE 40: CONCENTRATIONS EN Ni DANS LES STATIONS DU CANAL (ST03, ST06 ET ST15), EN SAISON CHAUDE (2007 À 2021) . 47	47

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRÉLÈVEMENT DU SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE.....	8
TABLEAU 2: STATISTIQUES DES VALEURS DE TEMPÉRATURE, SALINITÉ, FLUORESCENCE ET TURBIDITÉ ENREGISTRÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	11
TABLEAU 3 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN ÉLÉMENTS MAJEURS ET DES VALEURS DU pH MESURÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	16
TABLEAU 4: STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MES MESURÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE CALÉDONIE (AVRIL 2021).	17
TABLEAU 5 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN SELS NUTRITIFS MESURÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	22
TABLEAU 6 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MATIÈRES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESURÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	27
TABLEAU 7: STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE A MESURÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).....	28
TABLEAU 8 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN MÉTAUX DISSOUS (As, Cd ²⁺ , Co ²⁺ , Cr ⁶⁺ , Cr _{TOTAL} ET Cu ²⁺) MESURÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	31
TABLEAU 9 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN MÉTAUX DISSOUS (Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Ni ²⁺ , Pb ²⁺ ET Zn ²⁺) MESURÉES DANS LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALÉDONIE (AVRIL 2021).	31
TABLEAU 10 : MOYENNES 2007-2021, DES CONCENTRATIONS EN NO _x ET NH ₄ ⁺ AUX STATIONS SENTINELLES, EN SURFACE, MI-PROFONDEUR ET FOND, AINSI QUE TOUTES PROFONDEURS CONFONDUES, ET MOYENNES GLOBALES DES CONCENTRATIONS DANS LES AIRES D'INFLUENCES TERRIGÈNE OU OCÉANIQUE.....	39
TABLEAU 11 : MOYENNES, ENTRE 2007 ET 2021, DES CONCENTRATIONS EN MÉTAUX DISSOUS DES STATIONS PILOTES, EN SURFACE, MI-PROFONDEUR ET FOND, AINSI QUE TOUTES PROFONDEURS CONFONDUES.....	43

ANNEXES

ANNEXE 1.....	55
ANNEXE 2.....	59
ANNEXE 3.....	61
ANNEXE 4.....	63
ANNEXE 5.....	65
ANNEXE 6.....	67
ANNEXE 7.....	69
ANNEXE 8.....	73
ANNEXE 9.....	78

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

La structuration verticale des masses d'eau sur chacune des stations échantillonnées a été obtenue grâce aux profils verticaux réalisés avec une sonde CTD SBE19 équipée de capteurs additionnels. La fréquence d'acquisition des données étant de 0,5 secondes et la vitesse de descente d'environ 0,5 m/s, une série d'acquisition est générée tous les 25 cm environ.

Les paramètres de la sonde CTD et leurs spécifications sont les suivants (Tableau 1) :

- la pression, qui permet de calculer la profondeur ;
- la salinité (‰), déduite de la mesure de la conductivité ;
- la température (°C) ;
- la turbidité par mesure de la néphéломétrie, exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- la fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg/m³, qui permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

Tableau 1: Spécifications des paramètres de la sonde.

Paramètres	Gamme	Précision initiale	Résolution
Conductivité (S.m ⁻¹)	0 - 9	<0,0505	<0,0507
Température (°C)	-5 à +35	0,005	<0,0501
Pression (db)	0 - 350	0,35	0,007
Turbidité (NTU)	0 - 25	NA*	0,01
Fluorescence (mg/m ³)	0 - 50	NA*	0,025

ANALYSE DES ÉLÉMENTS MAJEURS, pH ET MATIÈRE EN SUSPENSION (MES)

Un sous-échantillonnage à partir des prélèvements en bouteilles Niskin® a été effectué pour :

- le dosage des ions calcium (Ca²⁺), sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et magnésium (Mg²⁺) qui ont été déterminés par analyse directe à l'ICP-OES (Spectrométrie d'Emission Optique couplée à une torche plasma, marque Varian, modèle 730 ES) ;
- le dosage des ions chlorures (Cl⁻) a été réalisé par titration au nitrate d'argent par la méthode de Mohr ;
- le dosage des ions sulfates (SO₄²⁻) a été réalisé par spectrophotométrie en présence de réactifs de chlorure de baryum et d'acide citrique (Modèle HACH DR1900) ;
- la mesure du pH (pHmètre WTW) ;
- la détermination de la concentration en MES (Matière En Suspension) obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon puis pesée du filtre (Nucleopore® de 0,45 µm de porosité).

Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en polyéthylène haute densité et les échantillons sont conservés à 4 °C jusqu'à leur analyse de retour au laboratoire.

ANALYSE DES SELS NUTRITIFS

Les échantillons d'eau nécessaires aux différentes déterminations analytiques ont été directement conditionnés à bord du « Slavco » dans du flaconnage soit en :

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (NH_4) ;
- PEHD et stockés en vue de leur traitement ultérieur au laboratoire de AEL. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates + nitrites ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) et de phosphates (PO_4) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatman® GF/F (porosité 0,7 μm) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20 °C jusqu'à dosage ultérieur au laboratoire de AEL. Ces dosages concernent l'azote organique particulaire (NOP) et le phosphore organique particulaire (POP).

a) Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO_3) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des NO_3 est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO_2) obtenus par réduction des ions NO_3 . Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ par photométrie ([Oudot et Montel, 1988](#)). Cependant, les concentrations en NO_2 dans les eaux de surfaces restent très faibles. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et 1 μM avec des limites de quantification d'environ 0,05 $\mu\text{mol/L}$.

b) Ammonium

En solution, l'azote ammoniacal est présent sous forme d'ammoniac (NH_3) et d'ion ammonium (NH_4^+), ce dernier étant prépondérant dans le milieu marin. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles et la méthode décrite par [Holmes et al., \(1999\)](#) est la plus adaptée. Il s'agit d'une méthode manuelle basée sur le principe d'une mesure fluorométrique qui permet de doser des quantités infimes de NH_4 . Les proportions de réactifs ont été déterminées pour des concentrations maximales d'ammonium de 3 $\mu\text{mol/L}$, la limite de quantification de la méthode est de 1,5 nmol/L.

c) Phosphates

Le dosage des PO_4 a été effectué selon la méthode de [Murphy et Riley \(1962\)](#) basée sur la formation en milieu acide ($\text{pH}<1$) de phosphomolybdate d'ammonium dont le réducteur donne un complexe de couleur bleue dosable par photométrie. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III. Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 0 et 0,75 $\mu\text{mol/L}$ avec des limites de quantification d'environ 0,05 $\mu\text{mol/L}$.

e) Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de [Mullin et Riley, 1955](#), modifiée par [Fanning et Pilson \(1973\)](#). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne une coloration bleue intense. Le domaine de concentrations mesurables s'étend de 0,5 à 15 $\mu\text{mol/L}$, la limite

de quantification est de 0,6 µmol/L et l'intervalle de confiance de 98,5 % sur une gamme de 0 à 10 µmol/L de SiO₄.

ANALYSE DE MATIÈRE ORGANIQUE

a) Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique dissous ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation (Raimbault *et al.*, 1990) et les composés inorganiques produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. Ceci par la méthode d'oxydation par voie humide utilisée, simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

Les valeurs brutes obtenues correspondent à la concentration de matière organique totale. Les valeurs de la matière organique dissoute sont alors calculées par la différence entre les valeurs de matière organique totale et celles de forme minérale et particulaire.

Pour l'azote organique dissous (NOD), le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 40 µmol/L et la limite de quantification est de 0,130 µmol/L. Pour le phosphore organique dissous (POD), le domaine de concentrations mesurées est inférieur à 7 µmol/L et la limite de quantification est de 0,050 µmol/L.

b) Azote et phosphore organiques particulaires

Le dosage de la matière organique particulaire ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation (Raimbault *et al.*, 1990) et les composés inorganiques qui sont produits peuvent alors être dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO₃ + NO₂ et les PO₄. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée est simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

Les valeurs de la matière organique particulaire sont alors calculées de la façon suivante :

$$[\text{NOP}] = [\text{NO}_3 + \text{NO}_2]_t \times V_1/V_2$$

$$[\text{POP}] = [\text{PO}_4]_t \times V_1/V_2$$

Soit :

- [NOP] et [POP] = les concentrations respectives en azote et phosphate organiques particulaires ;
- [NO₃ + NO₂]_t et [PO₄]_t = les concentrations respectives en nitrates+nitrites et phosphates mesurées après oxydation au persulfate ;
- V₁ = le volume d'eau milli-Q utilisé lors de l'oxydation au persulfate (mL) ; V₂ le volume d'eau de mer filtré (mL).

Cette méthode permet de couvrir une gamme d'analyse comprise entre 1 et 40 µmol/L avec des limites de quantification de 0,130 µmol/L pour le NOP et entre 0,75 et 7 µmol/L avec des limites de quantification de 0,050 µmol/L pour POP.

c) Carbone organique particulaire

L'analyse des filtres a été conduite sur un analyseur CHN (Carbone, Hydrogène, Azote) selon le principe de la combustion de la matière organique par l'oxygène, suivi d'un dosage du dioxyde de carbone et de l'azote formés. L'analyse de carbone organique particulaire (COP) a été effectuée par le laboratoire des moyens analytiques de l'IRD de Dakar.

ANALYSE DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

La concentration de pigments chlorophylliens est déterminée sur des échantillons d'eau collectés à bord du « Slavco » puis filtrés au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F. Leur conservation est effectuée par congélation à -20°C jusqu'à l'analyse.

Les dosages ont été effectués par la méthode fluorométrique de Lorenzen (1966) qui présente une très grande sensibilité. Les pigments chlorophylliens sont extraits du filtre par un solvant organique, leur détection s'effectue, après excitation dans un faisceau lumineux à 450 nm, par mesure de la fluorescence émise à 670 nm (ce principe est identique à celui utilisé par le capteur de fluorescence in-situ équipant la sonde multiparamétrique SBE 19). Sur chaque extrait, la mesure de fluorescence est effectuée deux fois, avant et après acidification.

L'écart de fluorescence observé entre ces deux lectures est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle a par rapport à la somme chlorophylle-a + Phéophytine-a. Etant données les interférences dues aux chlorophylles b et c, la précision des mesures dépend de la nature même des communautés de producteurs primaires. La limite de quantification pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de 0,01 µg/L.

ANALYSE DES MÉTAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

Pour chacune des 14 stations de la campagne semestrielle, les trois profondeurs (surface, mi-profondeur et fond) sont prélevées en trois lots destinés à différents type d'analyse :

- Les échantillons du premier lot sont filtrés en ligne à 0,45 µm (pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments dissous **Cr^{VI}/Cr-total** effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire AEL.
- les échantillons du deuxième lot sont filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont envoyés, après acidification, au laboratoire de Rouen pour l'analyse de l'**As** dissous par spectrométrie de masse par torche plasma (ICP-MS) ([NF EN ISO 17294-2](#)).
- les échantillons du troisième lot sont directement filtrés à 0,45 µm en ligne (filtres Millipore[®], qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement. Les pré-concentrations terminées, chaque colonne de résine est bouchée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer[®]) puis stockée dans un portoir fermé hermétiquement. De retour au laboratoire, les métaux sont élusés de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2 mol/L).

L'analyse des éléments dissous **Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn** est ensuite effectuée par spectrométrie d'émission optique par torche à plasma (ICP-OES ; Marque Varian, modèle Vista). Cette méthode a été développée par Moreton et al., (2009).

TRAITEMENTS STATISTIQUES

L'usage des LQ permet de s'assurer du niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements statistiques lorsque les métaux sont en très faibles concentrations. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Afin de se rapprocher de la réalité, les limites instrumentales de détection (LD), plus basses que les LQ, sont incluses dans le traitement statistique. Dans cette étude, la relation qui peut être admise entre ces deux grandeurs correspondant à un facteur 3, les valeurs prises en compte ont été diminuées d'autant. Les valeurs inférieures à cette LD sont considérées comme nulles.

ANNEXE 2

Variables physico-chimiques

Minimums, maximums, moyennes et écart-types des données physico-chimiques mesurées lors de la campagne semestrielle d'avril 2021.

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
ST02	Minimum	24,61	0,17	0,31	34,19
	Maximum	26,13	0,58	6,72	35,18
	Moyenne	25,64	0,36	1,23	34,69
	Ecart-type	0,569	0,074	1,617	0,328
ST03	Minimum	23,98	0,15	0,39	30,53
	Maximum	25,91	1,03	2,79	35,11
	Moyenne	25,46	0,74	0,91	34,45
	Ecart-type	0,364	0,168	0,544	1,154
ST05	Minimum	25,57	0,11	0,28	34,39
	Maximum	26,09	0,56	5,68	34,83
	Moyenne	25,85	0,36	0,91	34,69
	Ecart-type	0,191	0,080	1,106	0,127
ST06	Minimum	25,13	0,27	0,52	30,27
	Maximum	25,89	0,75	7,48	35,03
	Moyenne	25,53	0,54	1,44	34,23
	Ecart-type	0,262	0,111	1,347	1,289
ST07	Minimum	23,55	0,36	0,29	34,35
	Maximum	25,79	1,12	4,49	35,50
	Moyenne	24,96	0,71	0,53	35,00
	Ecart-type	0,731	0,245	0,247	0,330
ST09	Minimum	24,57	0,29	0,32	34,38
	Maximum	25,94	0,61	3,05	35,24
	Moyenne	25,24	0,44	0,54	34,89
	Ecart-type	0,467	0,067	0,261	0,257
ST13	Minimum	25,05	0,05	0,34	33,85
	Maximum	25,53	0,61	7,26	35,01
	Moyenne	25,38	0,42	0,48	34,69
	Ecart-type	0,124	0,137	0,392	0,289
ST14	Minimum	25,65	0,38	0,40	32,97
	Maximum	25,85	0,61	3,51	34,70
	Moyenne	25,74	0,46	0,70	34,34
	Ecart-type	0,045	0,037	0,470	0,525

Station	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m ³)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
ST15	Minimum	25,53	0,10	0,29	31,77
	Maximum	26,08	0,78	1,96	35,02
	Moyenne	25,66	0,42	0,51	34,65
	Ecart-type	0,136	0,166	0,316	0,660
ST16	Minimum	24,65	0,01	0,24	30,23
	Maximum	25,79	1,32	9,41	35,24
	Moyenne	25,36	0,45	0,83	34,57
	Ecart-type	0,283	0,225	1,234	1,234
ST18	Minimum	25,31	0,00	0,00	30,21
	Maximum	25,73	1,87	1,36	34,85
	Moyenne	25,48	0,49	0,42	34,19
	Ecart-type	0,093	0,283	0,169	1,495
ST19	Minimum	24,85	0,10	0,33	30,11
	Maximum	25,59	1,23	4,20	35,04
	Moyenne	25,37	0,53	0,46	34,44
	Ecart-type	0,180	0,173	0,306	1,204
St20	Minimum	24,86	0,32	0,49	34,82
	Maximum	25,39	1,10	5,47	35,22
	Moyenne	25,35	0,60	0,96	34,89
	Ecart-type	0,036	0,114	0,398	0,028
St21	Minimum	25,00	0,25	0,31	33,44
	Maximum	25,88	6,48	10,76	35,08
	Moyenne	25,55	0,61	0,52	34,62
	Ecart-type	0,269	0,371	0,832	0,276

ND= Non Déterminé

ANNEXE 3

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations des matières en suspension (MES)

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations de MES du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2021 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
	Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST02	S 416	515,53	1333	11192	19444	2100	1,28	8,08
	M 428	528,95	1368	11488	20139	2100	1,16	8,07
	F 441	541,89	1406	11650	20139	2300	0,838	8,05
ST03	S 413	506,23	1326	10973	17361	1800	1,98	8,03
	M 446	538,50	1400	11737	19444	2350	1,06	7,98
	F 444	541,48	1401	11780	19444	2500	1,23	8,07
ST05	S 437	532,10	1404	11464	19444	2050	0,758	8,07
	M 432	529,73	1370	11518	19444	1900	0,814	8,08
	F 430	525,07	1361	11430	19792	1900	0,844	8,05
ST06	S 393	483,47	1266	10362	17708	1700	2,13	8,04
	M 435	536,01	1372	12902	18750	2200	0,824	8,04
	F 440	542,68	1400	11791	19444	3100	0,844	8,04
ST07	S 431	532,31	1376	11582	19097	2250	1,24	8,02
	M 489	567,39	1554	12504	18403	2500	0,814	8,04
	F 447	541,13	1420	11855	19792	2100	1,07	8,04
ST09	S 431	519,78	1349	11070	20139	2250	0,834	8,08
	M 426	521,11	1351	11315	20486	2500	0,932	8,03
	F 438	535,46	1392	11491	20139	2000	0,782	8,04
ST13	S 435	527,70	1407	11575	19444	2000	0,946	7,93
	M 460	550,60	1459	12025	19792	2050	0,832	8
	F 440	532,41	1400	11696	19444	1900	0,682	8,03
ST14	S 398	490,06	1276	10682	18403	1700	1,57	8,01
	M 424	519,82	1355	11350	20139	2000	2,86	8,07
	F 434	527,71	1371	11482	19444	2200	0,816	8
ST15	S 403	499,33	1293	10859	18055	1950	1,27	8,03
	M 437	534,95	1397	11505	19792	2450	0,574	8,05
	F 429	526,20	1365	11457	19792	2750	1,03	8,02
ST16	S 409	480,57	1324	10681	17361	1650	<0,100	8,05
	M 444	536,65	1424	11813	19444	2050	2,09	8,04
	F 455	540,43	1415	11793	19444	2550	<0,100	8,02

Station	Niveau	Eléments majeurs et MES (mg/L)							pH
		Ca	K	Mg	Na	Cl	SO ₄	MES	
ST18	S	394	481,70	1262	10537	16667	2000	2,13	8,04
	M	452	548,98	1428	11758	19792	2050	1,21	8,06
	F	472	553,87	1502	12149	19792	2150	0,580	8,03
ST19	S	397	477,01	1280	10472	17014	1850	<0,100	8,07
	M	432	528,13	1382	11571	19444	2050	2,62	8,05
	F	461	543,44	1473	12057	19792	2050	0,652	8,03
St20	S	460	549,88	1470	12004	19444	2100	0,680	8,04
	M	428	524,75	1380	11491	19792	2750	1,21	8,04
	F	481	553,77	1546	12243	19444	2000	1,06	8,03
St21	S	427	522,51	1369	11415	19097	2000	0,812	8,04
	M	450	541,74	1440	11932	18750	2000	1,07	8,05
	F	432	532,23	1379	11568	19444	2250	0,830	8,05

ANNEXE 4

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2021 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Sels nutritifs ($\mu\text{mol/L}$)			
		NO_3+NO_2	NH_4	PO_4	SiO_4
ST02	S	1,11	0,04	0,12	3,24
	M	2,62	0,03	0,12	2,49
	F	2,51	0,03	0,17	2,20
ST03	S	0,06	0,17	0,09	11,49
	M	1,35	0,02	0,12	2,32
	F	1,53	0,06	0,10	2,32
ST05	S	0,44	0,02	0,12	2,13
	M	0,90	0,04	0,09	2,35
	F	1,10	0,03	0,07	5,88
ST06	S	2,57	0,06	0,18	10,25
	M	1,83	0,03	0,14	2,03
	F	2,15	0,04	0,18	2,53
ST07	S	0,29	0,05	0,09	2,25
	M	1,57	0,05	0,12	1,84
	F	0,78	0,05	0,08	2,58
ST09	S	0,48	0,04	0,13	3,05
	M	0,51	0,25	0,22	2,45
	F	1,90	0,10	0,22	2,25
ST13	S	0,64	0,06	0,07	3,71
	M	0,82	0,06	0,10	1,91
	F	0,83	0,06	0,08	3,07
ST14	S	1,90	0,12	0,12	3,63
	M	1,93	0,03	0,11	3,14
	F	1,21	0,04	0,14	2,62
ST15	S	2,06	0,03	0,09	7,61
	M	2,22	0,03	0,06	2,18
	F	1,21	0,06	0,07	2,14
ST16	S	1,22	0,08	0,09	19,82
	M	0,30	0,10	0,25	3,07
	F	1,56	0,08	0,10	2,61

Station	Niveau	Sels nutritifs ($\mu\text{mol/L}$)			
		NO_3+NO_2	NH_4	PO_4	SiO_4
ST18	S	0,04	0,04	0,08	12,41
	M	1,68	0,20	0,28	2,11
	F	1,74	0,06	0,07	1,98
ST19	S	0,00	0,02	0,10	17,80
	M	0,01	0,09	0,06	3,40
	F	0,90	0,12	0,06	4,39
St20	S	0,02	0,04	0,07	3,63
	M	0,79	0,04	0,07	2,61
	F	0,12	0,06	0,06	2,42
St21	S	2,16	0,04	0,07	2,33
	M	0,31	0,05	0,07	1,63
	F	0,12	0,06	0,07	1,58

ND= Non Déterminé

ANNEXE 5

Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle α

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle a du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2021 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Matière organique ($\mu\text{mol/L}$)						Chlorophylle α ($\mu\text{g/L}$)	
		NOP	POP	NOD	POD	COP	PT		
ST02	S	2,64	0,14	53,68	0,31	24,98	0,57	57,47	0,08
	M	1,03	0,08	5,10	0,07	24,15	0,26	8,78	0,28
	F	0,88	0,08	1,19	0,41	6,66	0,66	4,61	0,08
ST03	S	1,22	0,09	33,09	0,33	5,83	0,51	34,54	0,32
	M	0,73	0,06	12,62	0,36	5,83	0,55	14,73	0,46
	F	0,69	0,05	2,45	0,50	4,16	0,66	4,73	0,34
ST05	S	0,62	0,06	3,39	0,45	5,83	0,62	4,48	0,07
	M	0,73	0,06	2,02	0,45	3,33	0,59	3,69	0,16
	F	0,91	0,08	2,29	0,51	9,16	0,66	4,33	0,23
ST06	S	1,90	0,14	4,27	0,30	9,99	0,62	8,80	0,14
	M	0,59	0,05	51,93	0,03	5,00	0,23	54,38	0,14
	F	0,46	0,04	25,14	0,54	4,16	0,76	27,80	0,11
ST07	S	0,97	0,07	3,02	0,58	4,16	0,73	4,34	0,20
	M	0,56	0,05	14,83	0,29	4,16	0,46	17,01	0,51
	F	1,00	0,08	4,00	0,53	4,16	0,68	5,84	0,06
ST09	S	1,40	0,10	8,58	0,34	9,16	0,57	10,49	0,28
	M	1,10	0,09	61,72	0,01	9,16	0,31	63,57	0,09
	F	0,76	0,05	1,37	0,40	5,00	0,67	4,12	0,09
ST13	S	0,78	0,06	9,02	0,56	4,16	0,69	10,50	0,15
	M	1,23	0,09	4,54	0,42	7,49	0,61	6,66	0,21
	F	0,88	0,08	9,42	0,32	4,16	0,49	11,19	0,10
ST14	S	2,31	0,15	1,40	0,35	13,32	0,61	5,72	0,38
	M	0,85	0,06	1,57	0,42	5,00	0,59	4,38	0,21
	F	0,79	0,06	2,90	0,52	6,66	0,72	4,95	0,20
ST15	S	1,24	0,06	2,01	0,51	4,16	0,66	5,35	0,14
	M	1,41	0,07	4,91	0,18	5,00	0,31	8,56	0,26
	F	0,98	0,07	13,22	0,16	5,00	0,29	15,48	0,54
ST16	S	0,94	0,06	18,19	0,38	5,83	0,53	20,43	0,15
	M	0,68	0,05	9,64	0,34	5,00	0,64	10,72	0,18
	F	0,75	0,06	7,04	0,23	3,33	0,38	9,43	0,32

ND= Non Déterminé

Station	Niveau	Matière organique (µmoL/L)							Chlorophylle α (µg/L)
		NOP	POP	NOD	POD	COP	PT	NT	
ST18	S	1,05	0,07	2,19	0,36	5,00	0,51	3,32	0,20
	M	0,91	0,07	19,50	0,03	5,00	0,37	22,29	0,13
	F	1,03	0,08	0,50	0,56	6,66	0,71	3,32	0,18
ST19	S	1,15	0,06	5,77	0,22	5,00	0,37	6,95	0,15
	M	0,93	0,07	4,91	0,30	5,00	0,42	5,94	0,02
	F	0,81	0,06	3,22	0,48	5,00	0,60	5,04	0,17
St20	S	0,85	0,07	6,03	0,30	3,33	0,45	6,94	0,30
	M	1,06	0,08	17,84	0,43	5,00	0,58	19,73	0,28
	F	0,67	0,06	41,64	0,18	6,66	0,30	42,48	0,39
St21	S	0,96	0,08	15,25	0,05	5,83	0,20	18,41	0,10
	M	1,60	0,10	4,61	0,44	8,33	0,61	6,58	0,61
	F	0,89	0,07	2,40	0,67	5,83	0,81	3,47	0,08

ANNEXE 6

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle d'avril 2021 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
		As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr-total	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ST02	S	1,61	<0,025	<0,027	0,28	0,45	0,03	0,06	0,03	0,11	0,10	<1,07
	M	1,72	<0,025	<0,027	0,14	0,21	0,09	0,06	0,07	0,13	0,36	1,39
	F	1,63	0,08	<0,027	0,12	0,17	0,20	0,06	0,06	0,10	0,55	1,30
ST03	S	1,69	<0,025	0,11	1,02	1,10	0,53	0,06	0,41	1,85	0,25	2,02
	M		<0,025	<0,027	0,14	0,20	0,03	0,06	0,04	0,11	0,10	<1,07
	F		<0,025	<0,027	0,13	0,22	0,05	0,06	0,03	0,12	0,10	<1,07
ST05	S	1,65	<0,025	<0,027	0,14	0,21	0,05	0,06	0,05	0,08	0,21	1,21
	M	1,67	<0,025	<0,027	0,13	0,22	0,09	0,06	0,03	0,06	0,14	<1,07
	F	1,61	<0,025	<0,027	0,12	0,23	0,24	0,06	0,05	0,08	0,12	<1,07
ST06	S	1,58	<0,025	0,06	2,21	2,29	0,03	0,06	0,40	0,80	0,13	<1,07
	M	1,61	<0,025	<0,027	0,14	0,22	0,09	0,06	0,03	0,08	0,10	<1,07
	F	1,23	<0,025	<0,027	0,16	0,20	0,04	0,06	0,04	0,10	0,10	<1,07
ST07	S		<0,025	<0,027	0,24	0,31	0,10	0,06	0,05	0,12	0,10	<1,07
	M	1,63	<0,025	<0,027	0,22	0,22	0,03	0,06	0,07	0,12	0,17	<1,07
	F	1,6	<0,025	<0,027	0,13	1,21	0,03	0,08	0,03	0,07	0,10	<1,07
ST09	S	1,68	<0,025	<0,027	0,25	0,27	0,05	0,07	0,10	0,27	0,10	3,43
	M	1,8	<0,025	<0,027	0,12	0,21	0,03	0,06	0,03	0,06	0,10	<1,07
	F	1,77	<0,025	<0,027	0,11	0,17	0,03	0,06	0,03	0,06	0,10	<1,07
ST13	S	1,52	<0,025	<0,027	0,33	0,37	0,22	0,06	0,09	0,26	0,54	1,78
	M	1,4	<0,025	<0,027	0,22	0,37	0,03	0,06	0,03	0,15	0,10	<1,07
	F	1,38	<0,025	<0,027	0,19	0,20	0,18	0,06	0,09	0,17	0,21	<1,07
ST14	S	1,58	<0,025	<0,027	0,21	0,24	0,14	0,06	0,14	0,19	0,20	2,67
	M	1,73	<0,025	<0,027	0,15	0,23	0,03	0,06	0,03	0,08	0,10	<1,07
	F	1,24	<0,025	<0,027	0,14	0,22	0,03	0,06	0,03	0,07	0,10	<1,07
ST15	S	1,24	<0,025	0,08	0,53	0,70	0,08	0,06	0,33	0,67	0,10	<1,07
	M	1,35	<0,025	0,04	0,26	0,40	0,07	0,06	0,18	0,24	0,10	<1,07
	F	1,43	<0,025	0,05	0,22	0,27	0,57	0,06	0,27	0,23	0,10	<1,07
ST16	S	1,59	<0,025	0,07	1,11	2,97	0,05	0,06	0,14	1,13	0,11	<1,07
	M	1,51	<0,025	<0,027	0,21	0,24	0,13	0,06	0,09	0,14	0,10	<1,07
	F	1,6	<0,025	0,04	0,17	0,23	0,21	0,06	0,09	0,28	0,41	2,89

ND= Non

Métaux dissous (µg/L)

déterminé	Station	Niveau	As	Cd	Co	Cr ^{VI}	Cr-total	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ST18		S	1,35	<0,025	0,05	0,79	1,04	0,11	0,06	0,11	0,72	0,13	<1,07
		M	1,62	<0,025	<0,027	0,24	0,27	0,04	0,06	0,03	0,12	0,10	<1,07
		F	1,59	<0,025	<0,027	0,26	0,36	0,18	0,06	0,09	0,19	0,13	<1,07
ST19		S	1,86	<0,025	0,08	0,00	1,34	0,08	0,06	0,24	1,38	0,17	<1,07
		M	1,33	<0,025	0,05	0,27	0,37	0,05	0,07	0,35	0,36	0,11	<1,07
		F	1,62	<0,025	0,04	0,23	0,37	0,05	0,06	0,17	0,29	0,10	<1,07
St20		S	1,71	<0,025	0,04	0,29	0,44	0,08	0,06	0,07	0,24	0,25	<1,07
		M	1,62	<0,025	<0,027	0,26	0,40	0,10	0,06	0,10	0,28	0,19	1,17
		F	1,5	<0,025	<0,027	0,25	0,30	0,07	0,06	0,09	0,24	0,13	1,10
St21		S	1,57	<0,025	<0,027	0,23	0,42	0,26	0,06	0,12	0,33	0,65	-
		M	1,66	<0,025	<0,027	0,14	0,24	0,03	0,06	0,04	0,11	0,18	1,19
		F	1,64	<0,025	<0,027	0,17	0,24	0,07	0,06	0,09	0,16	0,53	2,04

Rappel : Les valeurs des LQ des métaux sont : Co<0,027 µg/L ; Cu<0,025 µg/L ; Fe<0,068 µg/L ; Mn<0,028µg/L ; Ni<0,022µg/L ; Pb<0,100µg/L et Zn<1,07 µg/L

ANNEXE 7

Compilation des concentrations des sels nutritifs des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des nitrates+nitrites (NO₃+NO₂), ammonium (NH₄), phosphates (PO₄) et silicates (SiO₄) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2021 lors des campagnes semestrielles « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NO ₃ +NO ₂ (μmol/L)												
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Canal de la Havannah	Minimum	0,103	0,086	0,167	0,050	0,050	0,050	0,050	0,055	0,050	0,050	0,183	0,050	0,12
	Maximum	1,050	0,309	1,038	0,279	0,263	0,469	0,406	0,312	0,291	0,878	0,940	14,150	2,62
	Moyenne	0,395	0,220	0,493	0,079	0,089	0,268	0,155	0,239	0,125	0,161	0,381	1,150	1,12
	Ecart-type	0,318	0,067	0,237	0,065	0,066	0,105	0,117	0,075	0,067	0,213	0,189	3,600	0,84
Baies du Canal	Minimum	0,233	0,194	0,065	0,050	0,050	0,123	0,050	0,053	0,050	0,050	0,050	0,142	0,06
	Maximum	0,735	0,717	0,719	0,146	1,393	0,596	0,522	0,268	1,205	0,842	2,966	0,937	2,57
	Moyenne	0,491	0,355	0,376	0,064	0,241	0,253	0,191	0,158	0,396	0,428	0,515	0,307	1,61
	Ecart-type	0,187	0,167	0,194	0,036	0,435	0,158	0,180	0,075	0,332	0,265	0,930	0,279	0,71
Baie du Prony	Minimum	0,050	0,050	0,064	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,00
	Maximum	1,740	0,700	1,858	0,270	0,148	0,818	0,258	0,224	1,806	1,464	0,469	0,392	2,22
	Moyenne	0,385	0,122	0,401	0,085	0,071	0,254	0,079	0,086	0,892	0,603	0,147	0,128	1,08
	Ecart-type	0,527	0,187	0,526	0,066	0,033	0,239	0,061	0,060	0,688	0,561	0,127	0,093	0,82
Ile Ouen	Minimum	0,349	0,056	0,101	0,050	0,050	0,055	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,059	0,02
	Maximum	1,470	0,286	0,766	0,097	0,465	0,727	0,257	0,257	0,226	0,688	1,004	0,141	0,83
	Moyenne	0,719	0,131	0,322	0,067	0,145	0,273	0,085	0,107	0,102	0,241	0,245	0,108	0,54
	Ecart-type	0,389	0,085	0,250	0,020	0,162	0,261	0,085	0,080	0,064	0,261	0,377	0,030	0,37

Zone d'étude	Statistique	NH ₄ (μmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,026	0,034	0,010	0,018	0,019	0,044	0,039	0,030	0,115	0,032	0,127	0,100
	Maximum	0,125	0,292	0,262	0,088	0,135	0,114	0,610	0,210	0,260	0,266	2,050	0,667
	Moyenne	0,059	0,141	0,075	0,052	0,049	0,070	0,138	0,128	0,167	0,080	0,340	0,203
	Ecart-type	0,029	0,091	0,062	0,019	0,032	0,019	0,138	0,042	0,045	0,067	0,479	0,174
Baies du Canal	Minimum	0,009	0,064	0,014	0,025	0,022	0,043	0,065	0,050	0,207	0,007	0,174	0,100
	Maximum	0,136	0,266	0,230	0,237	0,135	0,166	0,323	0,270	1,106	0,415	0,718	0,786
	Moyenne	0,045	0,169	0,102	0,112	0,079	0,096	0,160	0,126	0,500	0,195	0,307	0,269
	Ecart-type	0,038	0,074	0,065	0,058	0,032	0,040	0,080	0,071	0,327	0,125	0,183	0,218
Baie du Prony	Minimum	0,004	0,018	0,012	0,016	0,014	0,014	0,066	0,030	0,105	0,126	0,065	0,100
	Maximum	0,114	0,249	0,287	0,199	0,073	0,595	0,276	0,280	1,721	0,262	0,488	0,512
	Moyenne	0,042	0,111	0,079	0,058	0,036	0,140	0,136	0,086	0,338	0,165	0,302	0,169
	Ecart-type	0,028	0,078	0,094	0,057	0,021	0,181	0,073	0,073	0,449	0,040	0,133	0,132
Ile Ouen	Minimum	0,005	0,043	0,018	0,061	0,022	0,064	0,059	0,040	0,195	0,057	0,051	0,100
	Maximum	0,163	0,389	0,216	0,162	0,246	0,137	0,339	0,140	0,606	0,134	0,944	0,174
	Moyenne	0,063	0,155	0,066	0,104	0,118	0,098	0,155	0,082	0,307	0,094	0,234	0,120
	Ecart-type	0,070	0,128	0,075	0,039	0,103	0,030	0,100	0,041	0,152	0,034	0,349	0,032
													0,01

Zone d'étude	Statistique	PO ₄ (µmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,070	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,061	0,074	0,102	0,093	0,051	0,091	0,127	0,139	0,202	0,050	0,107	0,111
	Moyenne	0,053	0,054	0,056	0,060	0,050	0,059	0,055	0,100	0,061	0,050	0,059	0,070
	Ecart-type	0,004	0,006	0,014	0,014	0,000	0,012	0,020	0,017	0,039	0,000	0,017	0,024
Baies du Canal	Minimum	0,050	0,052	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,060	0,072	0,120	0,096	0,050	0,072	0,050	0,113	0,050	0,112	0,080	0,105
	Moyenne	0,052	0,062	0,060	0,056	0,050	0,056	0,050	0,076	0,050	0,061	0,053	0,061
	Ecart-type	0,004	0,008	0,023	0,015	0,000	0,010	0,000	0,020	0,000	0,020	0,010	0,020
Baie du Prony	Minimum	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,171	0,202	0,185	0,094	0,063	0,273	0,050	0,112	0,148	0,148	0,105	0,137
	Moyenne	0,068	0,072	0,072	0,070	0,051	0,107	0,050	0,063	0,081	0,070	0,063	0,067
	Ecart-type	0,037	0,043	0,042	0,016	0,004	0,066	0,000	0,019	0,039	0,034	0,018	0,028
Ile Ouen	Minimum	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,06
	Maximum	0,082	0,073	0,070	0,115	0,050	0,088	0,050	0,072	0,295	0,050	0,050	0,156
	Moyenne	0,063	0,054	0,053	0,081	0,050	0,061	0,050	0,057	0,091	0,050	0,050	0,068
	Ecart-type	0,013	0,009	0,008	0,026	0,000	0,016	0,000	0,011	0,100	0,000	0,000	0,043

Zone d'étude	Statistique	SiO ₄ (µmol/L)												
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020	2021	
Canal de la Havannah	Minimum	0,969	0,050	0,050	1,117	0,744	0,602	0,986	0,800	1,726	0,500	1,226	0,600	1,58
	Maximum	1,575	0,940	1,615	2,532	1,161	1,061	1,382	2,910	3,152	1,918	1,541	7,759	5,88
	Moyenne	1,211	0,359	0,333	1,909	0,956	0,822	1,140	1,497	2,208	1,091	1,399	1,077	2,55
	Ecart-type	0,172	0,247	0,383	0,530	0,141	0,148	0,132	0,638	0,438	0,473	0,098	1,849	1,02
Baies du Canal	Minimum	1,344	0,520	0,050	1,504	1,144	1,035	1,029	1,270	2,300	1,284	1,634	0,600	2,03
	Maximum	4,794	4,690	2,840	4,149	12,342	8,140	4,215	3,980	18,430	10,690	20,330	3,914	11,49
	Moyenne	2,128	1,813	0,953	2,573	3,115	2,578	1,847	1,826	6,170	4,243	5,122	1,096	4,48
	Ecart-type	1,131	1,280	1,100	0,820	3,667	2,679	0,959	0,893	5,675	4,034	6,576	1,106	3,67
Baie du Prony	Minimum	1,546	1,320	0,095	1,466	1,189	1,809	1,358	0,490	3,013	1,109	0,893	0,600	1,98
	Maximum	4,209	6,640	9,953	3,250	12,959	6,624	4,480	3,990	8,178	26,176	6,238	1,110	19,82
	Moyenne	2,628	2,431	4,385	2,158	2,676	2,682	2,155	1,573	4,284	3,819	1,857	0,649	6,63
	Ecart-type	1,007	1,455	4,232	0,545	3,324	1,433	1,072	0,906	1,487	7,062	1,440	0,147	6,46
Ile Ouen	Minimum	1,308	0,540	0,050	1,638	1,212	1,053	1,251	0,630	1,915	1,344	1,323	0,600	1,91
	Maximum	1,672	1,340	0,400	2,242	1,472	1,746	2,007	2,720	4,454	4,904	1,582	0,600	3,71
	Moyenne	1,496	0,975	0,272	1,926	1,360	1,471	1,588	1,438	3,136	2,264	1,449	0,600	2,89
	Ecart-type	0,144	0,280	0,128	0,231	0,089	0,276	0,258	0,763	0,892	1,325	0,093	0,000	0,71

ANNEXE 8

Compilation des concentrations de la matière organique des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de l'azote et du phosphore organiques dissous (NOD et POD) et du carbone, de l'azote et du phosphore organiques particulaires mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2021 lors des campagnes semestrielle « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	NOD ($\mu\text{mol/L}$)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,676	0,380	2,922	2,740	0,957	2,754	3,027	2,940	2,084	0,660	5,795	1,941
	Maximum	3,509	6,830	5,475	4,705	4,715	4,072	6,021	8,560	3,825	5,505	10,732	36,174
	Moyenne	2,521	2,427	4,498	3,545	3,585	3,427	4,054	3,690	3,140	3,807	7,572	14,213
	Ecart-type	0,896	1,937	0,627	0,545	0,827	0,447	0,828	1,412	0,509	1,077	1,228	7,881
Baies du Canal	Minimum	0,948	0,870	4,233	1,088	3,257	2,288	3,465	3,760	2,093	3,765	6,179	7,510
	Maximum	3,786	3,320	5,551	3,781	4,274	4,462	5,576	6,940	4,327	5,477	9,610	23,465
	Moyenne	2,559	2,128	4,990	3,130	3,717	3,765	4,212	4,771	2,795	4,445	7,513	14,428
	Ecart-type	0,862	0,756	0,413	1,041	0,311	0,731	0,637	1,088	0,734	0,682	0,938	5,160
Baie du Prony	Minimum	1,513	1,070	3,792	1,740	2,982	3,613	1,634	2,450	2,393	3,423	6,070	1,825
	Maximum	4,455	2,900	5,782	4,451	4,048	4,635	5,614	5,130	4,644	8,059	9,298	23,833
	Moyenne	2,677	2,071	4,818	3,537	3,652	4,272	4,328	3,711	3,255	4,792	7,446	10,811
	Ecart-type	0,796	0,673	0,652	0,729	0,330	0,330	1,143	0,676	0,554	1,303	0,948	7,641
Île Ouen	Minimum	2,027	0,830	2,850	3,322	2,392	3,115	3,147	3,520	1,277	0,810	6,138	5,692
	Maximum	3,727	3,080	5,386	4,909	3,856	5,528	5,071	5,460	4,173	5,233	10,388	11,071
	Moyenne	3,090	1,725	4,233	4,042	3,322	4,416	4,330	4,245	3,154	3,245	8,385	7,781
	Ecart-type	0,630	0,966	0,848	0,607	0,502	0,870	0,750	0,813	0,995	1,438	1,530	2,289

Zone d'étude	Statistique	POD (µmol/L)													
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Canal de la Havannah	Minimum		0,132	0,671	0,470	0,107	0,165	0,074	0,000	0,000	0,018	0,021	0,011	0,000	0,01
	Maximum		0,322	0,953	0,705	0,298	0,326	0,235	0,178	0,505	0,083	0,158	0,225	0,256	0,67
	Moyenne		0,195	0,848	0,614	0,204	0,234	0,149	0,105	0,109	0,052	0,086	0,104	0,061	0,37
	Ecart-type		0,077	0,093	0,063	0,054	0,049	0,042	0,050	0,115	0,021	0,032	0,056	0,063	0,20
Baies du Canal	Minimum		0,064	0,708	0,442	0,001	0,130	0,019	0,009	0,035	0,003	0,059	0,033	0,000	0,03
	Maximum		0,220	0,920	0,699	0,255	0,251	0,135	0,269	0,150	0,120	0,414	0,134	0,121	0,54
	Moyenne		0,127	0,847	0,607	0,208	0,162	0,091	0,110	0,109	0,058	0,132	0,084	0,041	0,37
	Ecart-type		0,048	0,064	0,081	0,080	0,041	0,043	0,077	0,038	0,035	0,109	0,029	0,045	0,15
Baie du Prony	Minimum		0,124	0,596	0,552	-0,013	0,126	0,063	0,000	0,000	0,003	0,028	0,036	0,039	0,03
	Maximum		0,374	0,942	0,723	0,240	0,238	0,192	0,176	0,218	0,213	0,271	0,131	0,171	0,56
	Moyenne		0,228	0,776	0,624	0,153	0,167	0,148	0,074	0,096	0,110	0,109	0,070	0,081	0,31
	Ecart-type		0,085	0,105	0,048	0,072	0,037	0,038	0,055	0,060	0,058	0,077	0,030	0,037	0,16
Ile Ouen	Minimum		0,105	0,792	0,555	0,067	0,174	0,134	0,033	0,000	0,019	0,007	0,066	0,018	0,18
	Maximum		0,329	1,050	0,709	0,161	0,203	0,269	0,159	0,122	0,099	0,111	0,162	0,174	0,56
	Moyenne		0,211	0,875	0,620	0,120	0,191	0,187	0,128	0,054	0,063	0,065	0,100	0,101	0,37
	Ecart-type		0,104	0,092	0,065	0,036	0,011	0,046	0,047	0,055	0,032	0,038	0,033	0,059	0,13

ND = Concentration non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse ; NA : Non attribué

Zone d'étude	Statistique	COP (µmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	10,760	6,370	8,513	-	6,152	9,472	6,900	1,270	5,000	5,000	0,050	0,000
	Maximum	28,070	12,110	18,268	-	15,086	21,512	11,400	13,730	19,167	24,167	0,130	13,839
	Moyenne	17,604	8,147	12,139	-	11,686	14,409	8,327	6,447	9,000	8,278	0,074	5,490
	Ecart-type	5,118	1,514	3,039	-	2,665	4,023	1,120	3,391	3,974	5,142	0,019	3,742
Baies Canal	Minimum	8,850	5,160	10,801	-	9,498	11,398	7,800	7,710	3,333	4,167	0,060	3,802
	Maximum	25,960	11,500	16,044	-	61,849	22,230	13,800	16,010	18,333	15,000	0,120	7,949
	Moyenne	17,246	6,911	12,674	-	17,246	16,164	9,267	10,493	7,870	7,593	0,090	5,231
	Ecart-type	5,588	2,157	1,957	-	16,900	4,284	1,840	2,933	4,332	3,472	0,017	1,369
Baie du Prony	Minimum	8,410	5,160	7,932	-	6,152	8,570	5,600	1,270	3,333	2,500	0,050	0,000
	Maximum	28,070	27,890	27,071	-	61,849	34,740	22,600	16,010	19,167	24,167	0,170	43,838
	Moyenne	15,908	11,252	13,603	-	15,656	16,855	10,799	8,586	9,575	7,803	0,090	8,847
	Ecart-type	5,119	7,494	4,975	-	13,103	8,071	5,106	4,093	5,483	5,031	0,031	10,031
Ile Ouen	Minimum	11,820	6,690	9,404	-	11,939	12,750	10,000	8,150	5,000	5,000	0,090	3,940
	Maximum	17,820	27,890	20,083	-	16,781	34,740	22,600	14,440	9,167	8,333	0,150	10,741
	Moyenne	14,332	13,643	13,601	-	13,658	18,597	15,367	10,735	7,083	6,806	0,120	6,769
	Ecart-type	2,451	7,926	4,309	-	1,701	8,058	5,446	2,318	1,728	1,701	0,027	2,667

ND : Concentration non déterminée suite à un problème d'analyse.

Zone d'étude	Statistique	NOP (µmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	1,120	0,920	0,784	0,755	0,542	0,823	0,702	0,559	0,697	0,660	0,488	0,705
	Maximum	3,540	3,110	1,349	1,227	0,933	1,904	1,142	1,149	2,732	4,514	1,304	1,345
	Moyenne	1,753	1,909	1,043	0,921	0,737	1,210	0,857	0,802	1,414	1,420	0,688	0,923
	Ecart-type	0,792	0,751	0,160	0,133	0,113	0,362	0,142	0,157	0,526	1,160	0,231	0,179
Baies du Canal	Minimum	0,960	0,780	0,948	0,851	0,590	0,744	0,710	0,876	0,615	0,732	0,500	0,688
	Maximum	5,010	3,010	1,689	2,842	1,328	1,823	1,179	1,609	1,930	1,450	1,062	1,682
	Moyenne	2,120	1,354	1,223	1,275	0,903	1,197	0,862	1,173	1,080	0,970	0,768	0,982
	Ecart-type	1,243	0,677	0,236	0,608	0,247	0,311	0,143	0,265	0,395	0,265	0,172	0,308
Baie du Prony	Minimum	0,960	0,780	0,784	0,755	0,542	0,744	0,702	0,488	0,615	0,387	0,488	0,562
	Maximum	5,010	6,250	3,531	2,842	1,328	2,687	4,620	1,819	2,732	4,514	1,345	1,682
	Moyenne	1,790	2,684	1,434	1,224	0,882	1,313	1,170	0,998	1,439	1,515	0,736	0,999
	Ecart-type	1,045	2,010	0,874	0,679	0,226	0,637	0,978	0,329	0,644	1,261	0,214	0,354
Ile Ouen	Minimum	1,170	1,370	0,799	0,996	0,731	1,022	0,928	1,000	0,948	0,965	0,712	0,562
	Maximum	1,570	6,250	3,531	1,331	1,051	2,687	1,581	1,316	1,428	4,264	1,021	1,292
	Moyenne	1,417	3,395	1,509	1,188	0,930	1,369	1,284	1,183	1,110	1,988	0,900	0,865
	Ecart-type	0,147	2,301	1,025	0,122	0,129	0,648	0,220	0,121	0,170	1,278	0,130	0,293

Zone d'étude	Statistique	POP (µmol/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,051	0,002	0,000	0,038	0,053	0,038	0,029	0,049	0,061	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,080	0,107	0,083	0,091	0,094	0,089	0,100	0,119	0,120	0,089	0,115	0,098
	Moyenne	0,061	0,060	0,017	0,060	0,065	0,054	0,052	0,070	0,088	0,055	0,072	0,059
	Ecart-type	0,010	0,027	0,022	0,019	0,010	0,014	0,019	0,017	0,018	0,013	0,027	0,015
Baies du Canal	Minimum	0,069	0,034	0,000	0,052	0,060	0,051	0,030	0,077	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,119	0,141	0,045	0,260	0,123	0,087	0,115	0,140	0,117	0,054	0,108	0,111
	Moyenne	0,089	0,080	0,017	0,088	0,091	0,068	0,047	0,107	0,081	0,051	0,080	0,061
	Ecart-type	0,019	0,033	0,016	0,066	0,022	0,013	0,026	0,023	0,022	0,002	0,017	0,020
Baie du Prony	Minimum	0,051	0,002	0,000	0,038	0,053	0,038	0,029	0,046	0,050	0,050	0,050	0,050
	Maximum	0,119	0,141	0,106	0,260	0,123	0,096	0,275	0,151	0,120	0,245	0,115	0,111
	Moyenne	0,075	0,064	0,026	0,085	0,076	0,062	0,067	0,090	0,090	0,082	0,074	0,064
	Ecart-type	0,023	0,029	0,035	0,073	0,021	0,018	0,062	0,034	0,021	0,068	0,020	0,022
Ile Ouen	Minimum	0,062	0,020	0,000	0,059	0,063	0,054	0,051	0,108	0,073	0,065	0,061	0,050
	Maximum	0,105	0,072	0,106	0,084	0,101	0,076	0,112	0,151	0,109	0,245	0,090	0,082
	Moyenne	0,081	0,054	0,045	0,073	0,079	0,064	0,075	0,128	0,086	0,114	0,074	0,059
	Ecart-type	0,020	0,018	0,045	0,010	0,014	0,009	0,024	0,015	0,013	0,067	0,010	0,013

ANNEXE 9

Compilation des concentrations de chlorophylle a des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes de la chlorophylle a mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2021 lors des campagnes semestrielles « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	Chlorophylle a (µg/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,376	0,501	0,258	0,014	0,385	0,250	0,332	0,024	0,087	0,322	0,195	0,190
	Maximum	0,773	1,120	1,168	0,427	0,601	0,641	0,654	0,491	0,228	0,918	0,880	0,483
	Moyenne	0,532	0,911	0,661	0,281	0,496	0,442	0,462	0,283	0,165	0,561	0,551	0,370
	Ecart-type	0,119	0,152	0,238	0,113	0,061	0,132	0,087	0,117	0,043	0,135	0,188	0,087
Baie du Canal	Minimum	0,357	0,322	0,243	0,016	0,309	0,066	0,284	0,257	0,145	0,339	0,136	0,140
	Maximum	0,802	0,949	1,205	0,406	0,694	0,454	0,539	0,870	0,330	0,738	0,992	1,218
	Moyenne	0,556	0,613	0,644	0,281	0,539	0,307	0,427	0,570	0,238	0,568	0,609	0,464
	Ecart-type	0,153	0,248	0,275	0,140	0,110	0,118	0,089	0,162	0,071	0,116	0,277	0,338
Baie du Prony	Minimum	0,265	0,322	0,243	0,014	0,279	0,066	0,000	0,024	0,087	0,261	0,136	0,064
	Maximum	1,200	1,120	3,341	0,659	0,880	1,344	0,654	1,132	0,551	0,918	1,345	1,218
	Moyenne	0,595	0,837	0,835	0,269	0,560	0,414	0,386	0,466	0,220	0,564	0,682	0,498
	Ecart-type	0,231	0,252	0,746	0,147	0,141	0,301	0,150	0,290	0,111	0,136	0,303	0,327
Ile Ouen	Minimum	0,334	0,630	0,260	0,145	0,485	0,216	0,247	0,141	0,193	0,270	0,525	0,294
	Maximum	1,009	0,923	0,952	0,357	0,771	0,606	0,541	0,636	0,323	0,605	0,957	0,365
	Moyenne	0,759	0,767	0,556	0,255	0,670	0,320	0,339	0,453	0,246	0,516	0,827	0,332
	Ecart-type	0,256	0,101	0,259	0,068	0,098	0,145	0,107	0,212	0,046	0,124	0,158	0,031

ANNEXE 10

Compilation des concentrations des métaux dissous des campagnes « saison chaude »

Statistiques descriptives des concentrations moyennes des métaux dissous (As, Co, Cr^{VI}, Cr-total, Fe, Mn et Ni) mesurées dans la zone d'étude entre 2008 et 2021 lors des campagnes semestrielles « saison chaude ».

Zone d'étude	Statistique	As (µg/L)*												
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020	2021	
Canal de la Havannah	Minimum	0,150	-	-	-	1,700	0,000	1,400	1,000	1,000	1,400	1,690	1,780	1,38
	Maximum	0,470	-	-	-	1,900	1,330	2,500	2,600	2,400	1,900	2,310	2,360	1,80
	Moyenne	0,323	-	-	-	1,800	0,865	1,867	1,843	1,713	1,660	1,973	1,956	1,62
	Ecart-type	0,093	-	-	-	0,065	0,383	0,320	0,486	0,479	0,140	0,217	0,156	0,12
Baies du Canal	Minimum	0,160	-	-	-	1,600	0,608	1,000	1,200	1,000	1,300	1,310	1,710	1,23
	Maximum	0,480	-	-	-	2,000	1,777	2,400	3,100	2,800	1,900	2,390	2,330	1,73
	Moyenne	0,351	-	-	-	1,789	0,982	1,847	1,814	1,822	1,578	1,892	1,971	1,54
	Ecart-type	0,097	-	-	-	0,145	0,325	0,428	0,597	0,487	0,192	0,301	0,189	0,18
Baie du Prony	Minimum	0,150	-	-	-	1,500	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,310	1,650	1,24
	Maximum	0,620	-	-	-	2,000	1,777	2,500	3,100	2,800	1,900	2,390	2,360	1,62
	Moyenne	0,347	-	-	-	1,818	0,997	1,749	1,767	1,602	1,638	1,954	1,950	1,48
	Ecart-type	0,134	-	-	-	0,121	0,423	0,462	0,555	0,579	0,210	0,252	0,202	0,14
Ile Ouen	Minimum	0,330	-	-	-	1,700	0,753	1,300	1,000	1,000	1,500	1,580	1,670	1,33
	Maximum	0,500	-	-	-	1,800	1,115	1,700	2,300	1,500	1,700	2,230	2,020	1,86
	Moyenne	0,400	-	-	-	1,767	0,922	1,467	1,567	1,267	1,600	1,858	1,875	1,61
	Ecart-type	0,057	-	-	-	0,052	0,135	0,137	0,568	0,258	0,089	0,215	0,115	0,18

* : analyse effectuée par différentes techniques (ICP-MS et voltammetrie) et par différents laboratoires expliquant les différents seuils de LQ ; ND : Concentration non déterminée suite à un problème d'analyse.

Zone d'étude	Statistique	Co ($\mu\text{g/L}$)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020	
Canal de la Havannah	Minimum	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Maximum	0,027	0,044	0,042	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,08
	Moyenne	0,027	0,032	0,028	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Ecart-type	0,000	0,006	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,01
Baies du Canal	Minimum	0,027	0,029	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Maximum	0,102	0,102	0,082	0,058	0,046	0,109	0,086	0,114	0,106	0,130	0,217	0,091
	Moyenne	0,039	0,057	0,038	0,033	0,032	0,043	0,042	0,043	0,049	0,049	0,064	0,045
	Ecart-type	0,025	0,027	0,017	0,011	0,008	0,028	0,024	0,033	0,030	0,036	0,073	0,026
Baie du Prony	Minimum	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Maximum	0,102	0,270	0,252	0,092	0,061	0,109	0,111	0,114	0,107	0,130	0,217	0,091
	Moyenne	0,033	0,053	0,045	0,035	0,031	0,034	0,037	0,033	0,037	0,039	0,041	0,034
	Ecart-type	0,019	0,061	0,058	0,018	0,010	0,021	0,024	0,022	0,021	0,029	0,049	0,018
Ile Ouen	Minimum	0,027	0,039	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
	Maximum	0,048	0,058	0,054	0,052	0,027	0,031	0,061	0,032	0,032	0,027	0,034	0,041
	Moyenne	0,036	0,050	0,033	0,034	0,027	0,028	0,040	0,028	0,029	0,027	0,028	0,031
	Ecart-type	0,008	0,008	0,011	0,010	0,000	0,002	0,016	0,002	0,002	0,000	0,003	0,006

Zone d'étude	Statistique	CrVI ($\mu\text{g/L}$)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,106	0,098	0,086	0,067	0,096	0,115	0,102	0,116	0,060	0,154	0,085	0,113
	Maximum	0,251	0,231	0,116	0,087	0,160	0,144	0,132	0,145	0,150	0,189	0,117	0,147
	Moyenne	0,143	0,114	0,094	0,078	0,128	0,127	0,117	0,131	0,131	0,168	0,105	0,131
	Ecart-type	0,035	0,033	0,011	0,005	0,015	0,008	0,010	0,007	0,023	0,008	0,008	0,012
Baies du Canal	Minimum	0,110	0,107	0,098	0,079	0,119	0,124	0,115	0,112	0,134	0,178	0,106	0,092
	Maximum	0,230	0,232	0,264	0,348	0,546	0,243	0,272	0,934	1,004	4,200	0,352	0,277
	Moyenne	0,153	0,133	0,133	0,130	0,218	0,154	0,151	0,299	0,292	0,856	0,141	0,144
	Ecart-type	0,036	0,038	0,051	0,086	0,161	0,035	0,052	0,281	0,284	1,390	0,080	0,057
Baie du Prony	Minimum	0,106	0,098	0,086	0,067	0,079	0,115	0,102	0,107	0,060	0,154	0,085	0,089
	Maximum	0,776	1,222	0,264	0,513	0,638	0,325	0,295	0,934	1,004	4,200	0,352	0,409
	Moyenne	0,191	0,204	0,111	0,116	0,161	0,151	0,134	0,207	0,236	0,457	0,124	0,153
	Ecart-type	0,165	0,285	0,044	0,111	0,135	0,051	0,047	0,204	0,238	1,037	0,064	0,078
Ile Ouen	Minimum	0,136	0,136	0,088	0,083	0,079	0,134	0,115	0,136	0,154	0,159	0,099	0,089
	Maximum	0,160	0,238	0,138	0,096	0,203	0,190	0,147	0,214	0,236	0,220	0,125	0,219
	Moyenne	0,149	0,162	0,118	0,090	0,147	0,166	0,130	0,191	0,205	0,189	0,113	0,142
	Ecart-type	0,008	0,039	0,021	0,006	0,053	0,021	0,011	0,030	0,032	0,028	0,011	0,047

Zone d'étude	Statistique	CrTot (µg/L)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,177	0,150	0,127	-	0,097	0,135	0,127	0,137	0,142	0,142	0,180	0,105
	Maximum	0,676	0,270	0,702	-	0,255	0,176	0,203	0,255	0,249	0,214	0,356	0,198
	Moyenne	0,372	0,181	0,288	-	0,144	0,154	0,166	0,155	0,163	0,174	0,253	0,159
	Ecart-type	0,181	0,038	0,183	-	0,049	0,012	0,023	0,029	0,026	0,021	0,039	0,028
Baies du Canal	Minimum	0,187	0,150	0,184	-	0,103	0,147	0,172	0,153	0,162	0,160	0,228	0,156
	Maximum	0,730	0,170	0,488	-	0,425	0,584	0,334	0,329	1,058	1,116	4,240	0,527
	Moyenne	0,383	0,160	0,320	-	0,177	0,239	0,207	0,222	0,382	0,414	0,995	0,221
	Ecart-type	0,177	0,008	0,112	-	0,102	0,165	0,052	0,071	0,304	0,348	1,452	0,118
Baie du Prony	Minimum	0,174	0,150	0,127	-	0,097	0,133	0,127	0,137	0,142	0,140	0,180	0,105
	Maximum	0,730	0,450	1,857	-	0,425	1,670	0,344	0,329	1,058	2,970	4,240	0,527
	Moyenne	0,350	0,196	0,494	-	0,164	0,263	0,193	0,173	0,270	0,402	0,536	0,186
	Ecart-type	0,177	0,079	0,459	-	0,077	0,390	0,049	0,052	0,235	0,719	1,027	0,099
Ile Ouen	Minimum	0,236	0,170	0,194	-	0,119	0,133	0,164	0,145	0,188	0,158	0,222	0,148
	Maximum	0,404	0,250	1,000	-	0,168	0,239	0,217	0,185	0,257	0,276	0,268	0,211
	Moyenne	0,302	0,195	0,579	-	0,138	0,196	0,195	0,163	0,225	0,229	0,249	0,178
	Ecart-type	0,057	0,028	0,312	-	0,023	0,037	0,022	0,015	0,024	0,040	0,019	0,024

* : analyse effectuée par différentes techniques (ICP-MS et voltammetrie) et différents laboratoires expliquant les différents seuils de LQ ; ND : Concentration non déterminée suite à un problème d'analyse.

Zone d'étude	Statistique	Cu (µg/L)*											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,040	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
	Maximum	0,100	0,327	0,182	0,254	0,043	0,049	0,048	0,026	0,065	0,025	0,078	0,099
	Moyenne	0,080	0,091	0,052	0,080	0,027	0,028	0,027	0,025	0,031	0,025	0,031	0,032
	Ecart-type	0,035	0,092	0,048	0,092	0,005	0,008	0,006	0,000	0,012	0,000	0,015	0,019
Baies du Canal	Minimum	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03
	Maximum	0,100	0,235	0,093	0,192	0,065	0,121	0,025	0,025	1,402	0,041	0,025	0,080
	Moyenne	0,069	0,058	0,035	0,097	0,032	0,036	0,025	0,025	0,253	0,027	0,025	0,032
	Ecart-type	0,025	0,067	0,022	0,070	0,013	0,032	0,000	0,000	0,486	0,005	0,000	0,018
Baie du Prony	Minimum	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,04
	Maximum	0,160	0,864	0,182	0,630	0,075	0,275	0,266	0,203	1,402	0,055	0,144	0,099
	Moyenne	0,066	0,202	0,061	0,141	0,031	0,049	0,047	0,049	0,176	0,030	0,041	0,032
	Ecart-type	0,039	0,282	0,052	0,157	0,013	0,067	0,062	0,062	0,380	0,011	0,042	0,019
Ile Ouen	Minimum	0,025	0,058	0,025	0,098	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,03
	Maximum	0,160	0,864	0,123	0,630	0,047	0,275	0,067	0,203	0,100	0,055	0,144	0,049
	Moyenne	0,091	0,244	0,059	0,241	0,031	0,070	0,045	0,055	0,044	0,030	0,045	0,029
	Ecart-type	0,049	0,311	0,050	0,194	0,009	0,101	0,022	0,073	0,031	0,012	0,049	0,010
* Unité de mesure : µg/L (microgramme par litre)													

Zone d'étude	Statistique	Fe (µg/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,070	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,059	0,059	0,059	0,059
	Maximum	1,020	0,164	0,068	0,204	0,068	0,068	0,201	0,068	0,352	0,093	0,134	0,177
	Moyenne	0,180	0,099	0,068	0,081	0,068	0,068	0,116	0,068	0,083	0,064	0,064	0,078
	Ecart-type	0,265	0,034	0,000	0,035	0,000	0,000	0,046	0,000	0,076	0,011	0,019	0,039
Baies du Canal	Minimum	0,100	0,073	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,059	0,059	0,059	0,059
	Maximum	0,450	0,290	0,178	0,135	0,068	0,166	0,243	0,068	0,116	0,138	0,059	0,082
	Moyenne	0,199	0,167	0,080	0,083	0,068	0,097	0,121	0,068	0,070	0,085	0,059	0,065
	Ecart-type	0,108	0,070	0,037	0,023	0,000	0,034	0,051	0,000	0,022	0,034	0,000	0,010
Baie du Prony	Minimum	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,059	0,059	0,059	0,059
	Maximum	1,020	0,290	0,178	0,230	0,068	0,166	0,443	0,088	0,352	0,138	0,134	0,177
	Moyenne	0,244	0,140	0,083	0,089	0,068	0,083	0,166	0,069	0,087	0,078	0,064	0,070
	Ecart-type	0,318	0,067	0,039	0,043	0,000	0,028	0,139	0,005	0,076	0,027	0,019	0,031
Ile Ouen	Minimum	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,059	0,059	0,059	0,06
	Maximum	0,150	0,194	0,068	0,230	0,068	0,143	0,443	0,068	0,140	0,129	0,059	0,059
	Moyenne	0,108	0,122	0,068	0,102	0,068	0,093	0,214	0,068	0,073	0,075	0,059	0,059
	Ecart-type	0,032	0,050	0,000	0,065	0,000	0,027	0,164	0,000	0,033	0,028	0,000	0,00

Zone d'étude	Statistique	Mn (µg/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,090	0,080	0,038	0,029	0,033	0,029	0,057	0,029	0,034	0,033	0,072	0,073
	Maximum	0,140	0,146	0,134	0,150	0,052	0,082	0,292	0,093	0,191	0,212	0,200	0,269
	Moyenne	0,126	0,110	0,067	0,090	0,042	0,050	0,169	0,047	0,077	0,071	0,140	0,123
	Ecart-type	0,015	0,023	0,028	0,044	0,006	0,016	0,070	0,017	0,051	0,047	0,039	0,048
Baies du Canal	Minimum	0,130	0,179	0,098	0,053	0,039	0,087	0,061	0,034	0,137	0,055	0,167	0,100
	Maximum	0,660	0,543	0,383	0,496	0,251	0,504	0,992	0,394	0,520	0,547	2,585	0,670
	Moyenne	0,253	0,290	0,186	0,186	0,116	0,226	0,357	0,140	0,269	0,233	0,505	0,250
	Ecart-type	0,171	0,115	0,110	0,128	0,080	0,148	0,264	0,110	0,125	0,200	0,782	0,164
Baie du Prony	Minimum	0,090	0,080	0,028	0,029	0,033	0,029	0,057	0,029	0,034	0,033	0,072	0,073
	Maximum	0,660	1,271	4,157	1,127	0,462	0,692	1,107	0,396	0,520	0,547	2,585	0,670
	Moyenne	0,198	0,249	0,474	0,240	0,106	0,150	0,278	0,105	0,166	0,175	0,333	0,177
	Ecart-type	0,142	0,290	1,165	0,274	0,117	0,172	0,268	0,090	0,147	0,178	0,626	0,145
Ile Ouen	Minimum	0,180	0,205	0,101	0,234	0,052	0,110	0,173	0,054	0,037	0,039	0,152	0,151
	Maximum	0,330	0,332	0,258	0,422	0,136	0,285	0,525	0,143	0,299	0,191	0,270	0,274
	Moyenne	0,255	0,242	0,150	0,290	0,099	0,198	0,297	0,097	0,142	0,089	0,209	0,187
	Ecart-type	0,056	0,046	0,065	0,068	0,029	0,075	0,130	0,030	0,100	0,055	0,039	0,049

Zone d'étude	Statistique	Ni (µg/L)											
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canal de la Havannah	Minimum	0,120	0,086	0,030	0,048	0,041	0,051	0,088	0,045	0,068	0,041	0,119	0,075
	Maximum	0,160	0,126	0,219	0,131	0,085	0,120	0,239	0,135	0,239	0,155	0,222	0,240
	Moyenne	0,141	0,106	0,078	0,091	0,067	0,077	0,171	0,079	0,132	0,084	0,149	0,142
	Ecart-type	0,011	0,011	0,046	0,028	0,013	0,020	0,045	0,021	0,043	0,032	0,028	0,052
Baies du Canal	Minimum	0,150	0,150	0,121	0,122	0,074	0,096	0,104	0,053	0,243	0,095	0,195	0,142
	Maximum	0,820	0,654	0,321	0,235	0,726	1,082	0,755	0,571	1,131	1,438	2,734	0,583
	Moyenne	0,277	0,322	0,179	0,171	0,261	0,306	0,309	0,214	0,478	0,416	0,703	0,229
	Ecart-type	0,212	0,182	0,076	0,048	0,247	0,337	0,197	0,179	0,351	0,466	0,965	0,150
Baie du Prony	Minimum	0,120	0,086	0,030	0,048	0,041	0,051	0,088	0,045	0,068	0,020	0,117	0,075
	Maximum	0,820	1,062	1,440	0,369	0,726	1,082	1,128	0,571	1,131	1,861	2,734	0,583
	Moyenne	0,216	0,224	0,208	0,158	0,174	0,183	0,302	0,147	0,266	0,294	0,350	0,171
	Ecart-type	0,173	0,240	0,349	0,086	0,189	0,253	0,285	0,125	0,265	0,464	0,662	0,121
Ile Ouen	Minimum	0,170	0,174	0,053	0,194	0,073	0,118	0,240	0,102	0,107	0,101	0,117	0,134
	Maximum	0,340	0,283	0,292	0,300	0,403	0,247	1,128	0,184	0,297	0,306	0,234	0,236
	Moyenne	0,268	0,221	0,165	0,231	0,175	0,186	0,510	0,142	0,211	0,172	0,191	0,182
	Ecart-type	0,061	0,036	0,082	0,037	0,116	0,054	0,360	0,027	0,093	0,070	0,044	0,038